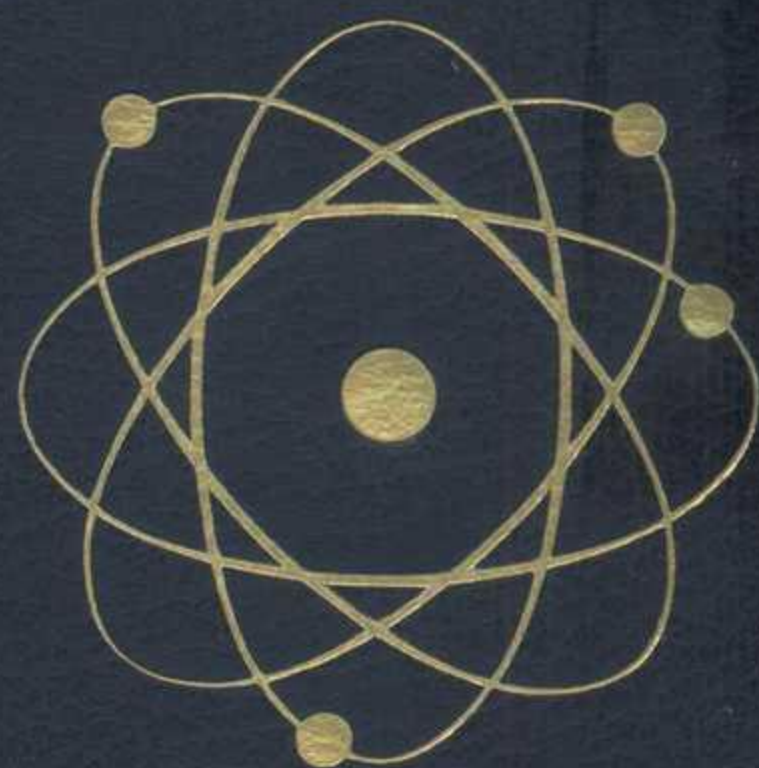
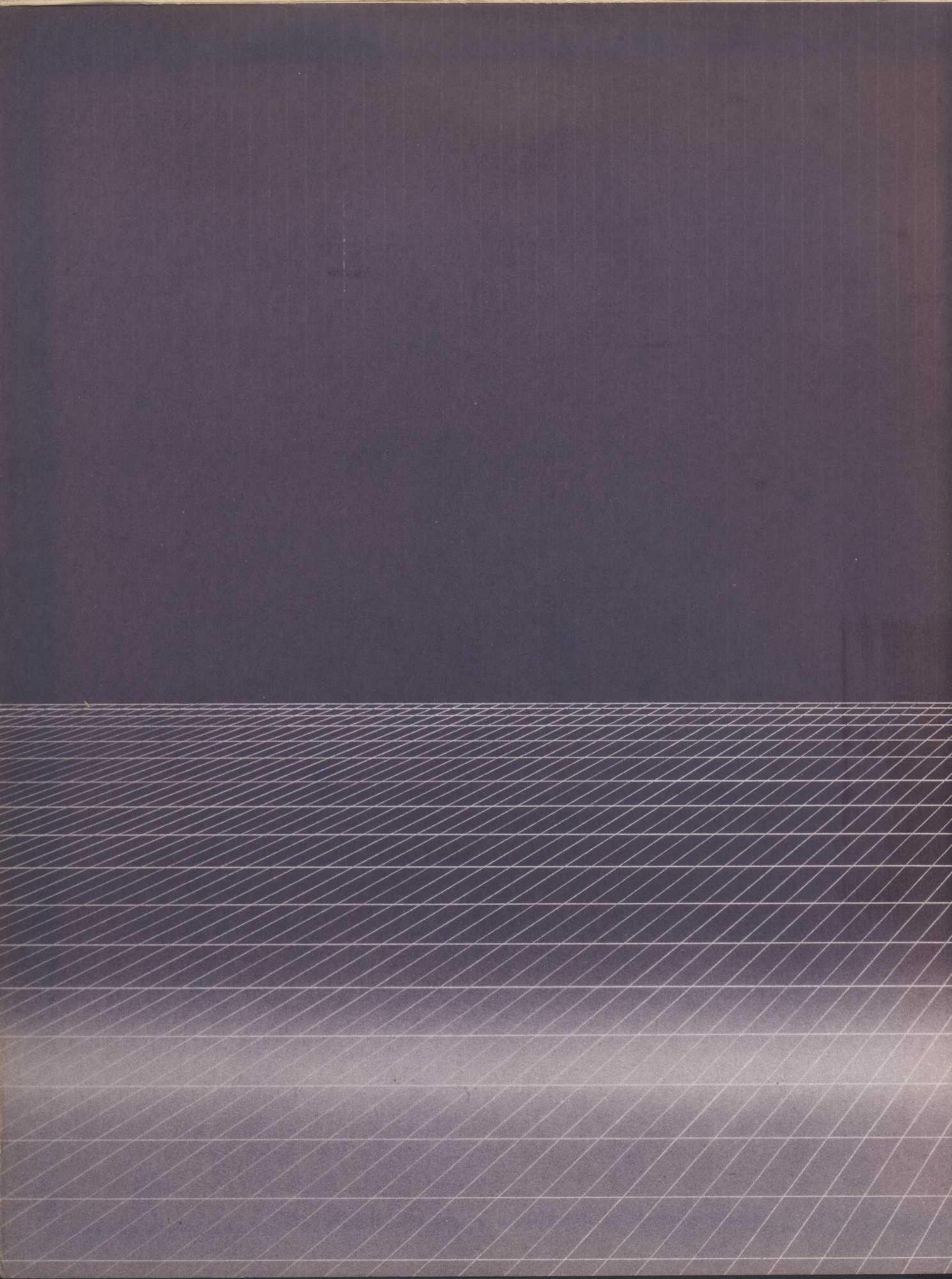
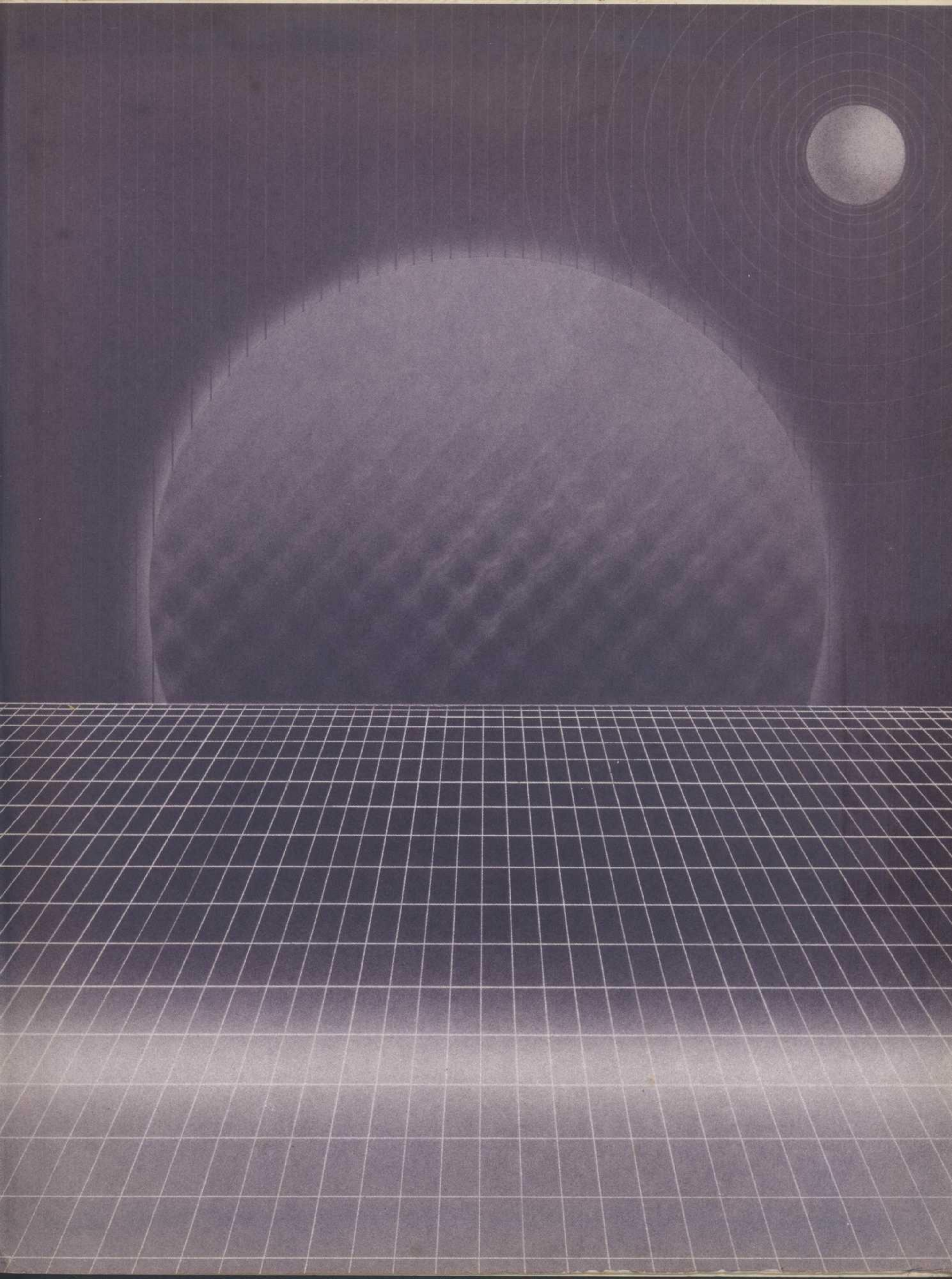


Ciencia y Técnica



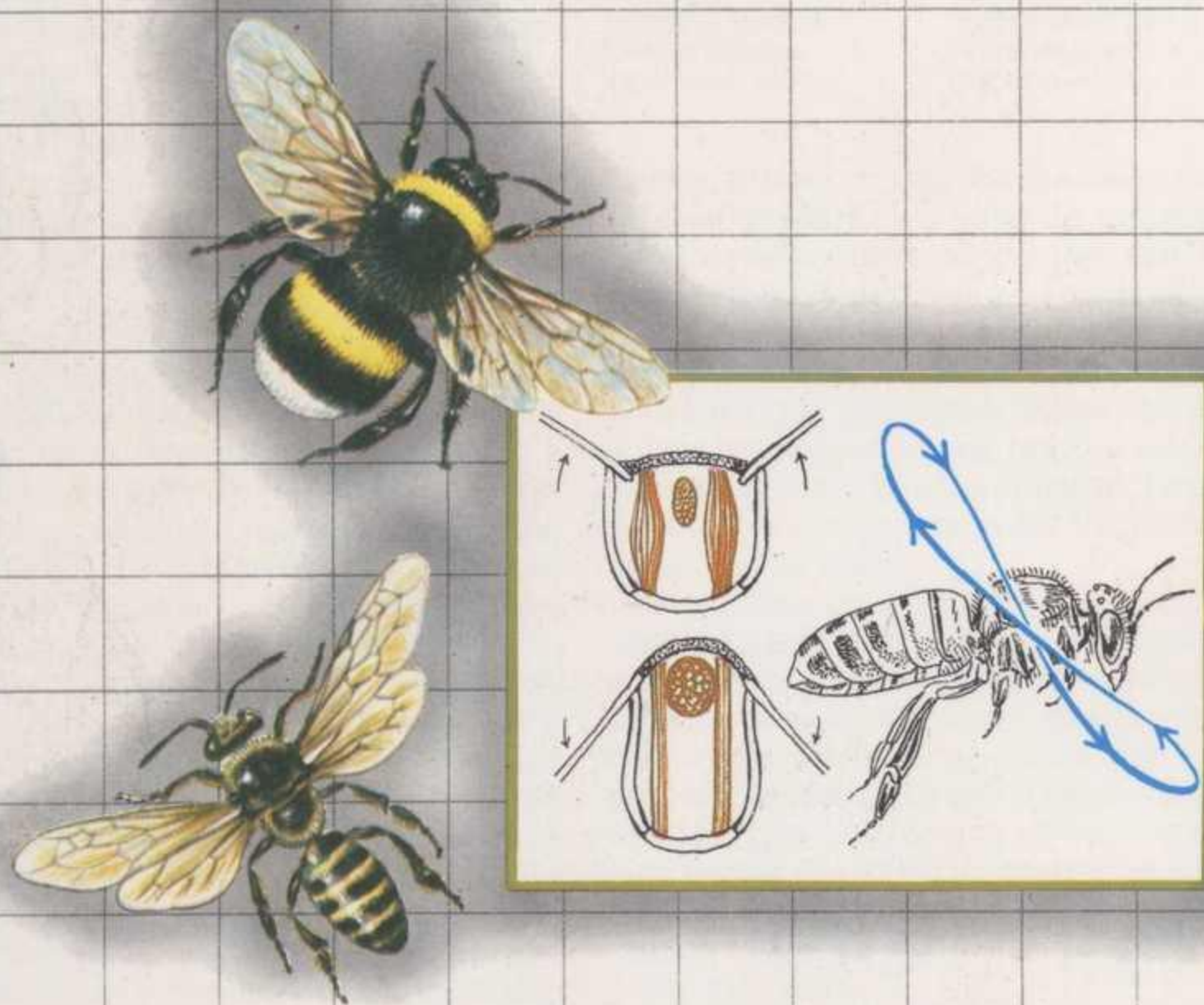
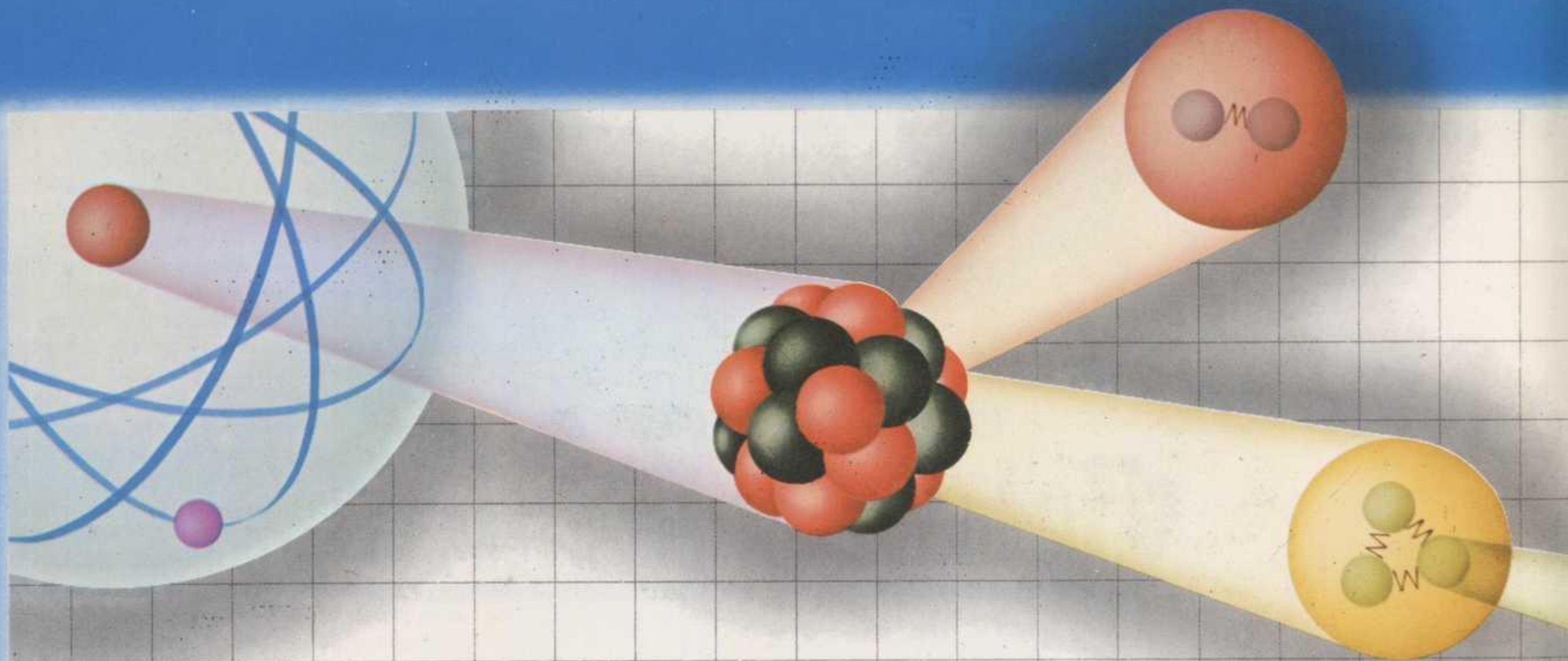
SALVAT





ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



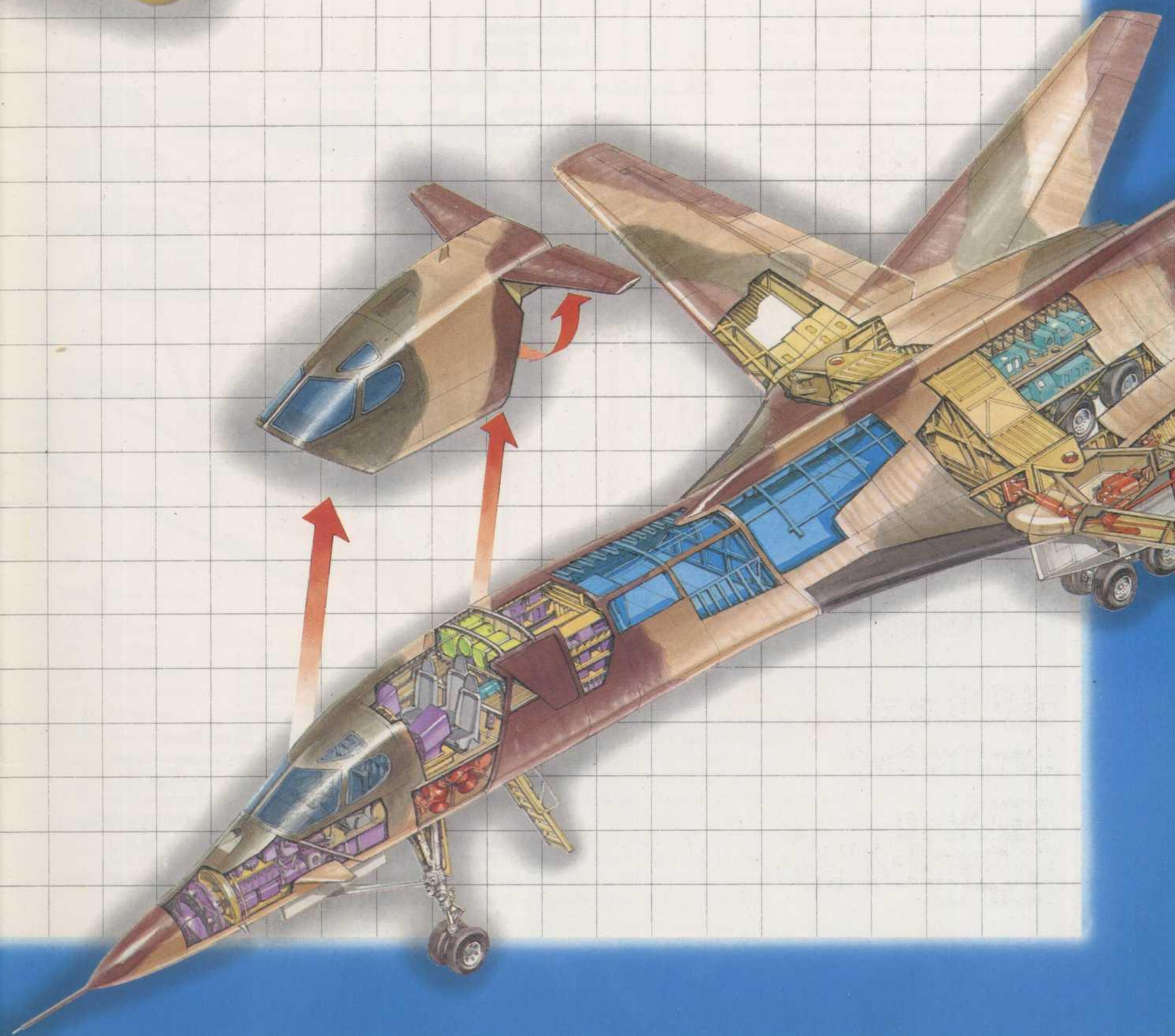
Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 41-49, Barcelona-08029, España

© Salvat Editores, S.A., 1986
© Gruppo Editoriale Fabbri

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1986
Depósito Legal: NA. 125 - 1984
ISBN: 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-4497-0 (Volumen 7)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black –
Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter
Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlitz – Corinna Gardner – Barbara George –
Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris –
Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil
– Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee –
Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink –
Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili
Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
 Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
 Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
 Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
 César Casquet, *Universidad Complutense*
 Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
 Juan José Díez, *Universidad Complutense*
 Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
 Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
 Ildelfonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
 José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
 Pedro L. Martín, *Ingeniero de Caminos*
 Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
 Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
 M.^a Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
 Francisco Montero de Espinosa, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
 Gloria Morcillo, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
 Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
 Gerardo Pastor, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
 Francisco J. Quiles, *Médico*
 Antonio Ramos, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
 Germán Rodríguez Corral, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
 M.^a Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
 Magna Santos, *Instituto «Daza de Valdés»*
 Manuel Sigueros, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
 Enrique Villanueva, *Ingeniero Industrial*

Consejo de Redacción

Dr. Andrew Abrahams - *Bedford Stuyvescent Hospital, N. Y.* - Nancy Akre - *Cooper-Hewitt Museum, N. Y.*
 - Dr. Neil Baggett - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* - Dr. Thomas J. Barnard - *Columbia Presbyterian Hospital, N. Y.* - William Bates - *Computer consultant, N. Y.* - Terry Belanger - *Columbia University, N. Y.* - Roberto Brambilla - *Institute for Environmental Action, N. Y.* - Oscar A. Campa - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* - Dr. A.L. Carsten - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* - Dr. Lars Cederqvist - *Gynecologist, N. Y.* - Carroll Cline - *Lighting consultant, N. Y.* - Dr. Paul Comer - *Anesthesiologist, Montana* - John Dalton - *Modelworks, Inc, N. Y.* - David Devaleria - *Columbia University, N. Y.* - Ken Distler - *Ademco, Long Island, N. Y.* - Dr. Janice Dodds - *Columbia University, N. Y.* - David Dooling - *Huntsville Times, Huntsville, Alabama* - Lt. Robert Donovan - *U.S. Navy, N. Y.* - Prof. Patricia Dudley - *Barnard College, N. Y.* - Dr. Rene Eastin - *Long Island University, N. Y.* - Prof. Rhodes Fairbridge - *Columbia University, N. Y.* - Dr. Gerald Feinberg - *Columbia University, N. Y.* - Robert Feitlowitz - *Textiles consultant, N. Y.* - Leonard Feldman - *Leonard Feldman Electronic Lab, N. Y.* - John Fitch - *Automobile consultant, N. Y.* - Dr. Richard Fitzpatrick - *Bell Laboratories, N. Y.* - Dr. Robert Fried - *Psychiatrist, N. Y.* - Sara Friedman - *Author, N. Y.* - Dr. Michael Garvey - *Animal Medical Center, N. Y.* - Prof. Allan Gilbert - *Columbia University, N. Y.* - Dr. John Gmeiner - *Nebraska Psychiatric Institute, Nebraska* - Eugene Grisanti - *International Flavors and Fragrances Inc, N. Y.* - Annabelle Harris - *International Paper, N. Y.* - Kevin Hayes - *Typesetter, N. Y.* - Norman Hollyn - *Film editor, N. Y.* - Dr. Jonathan House - *Doctor, N. Y.* - Dr. Elizabeth Kellner - *Nutritionist, N. Y.* - Prof. Ellis Kolchin - *Columbia University, N. Y.* - Prof. Martin Kramer - *City College of New York, N. Y.* - T. Kuroiwa - *Japan Smoking Articles Corporated Assoc., Tokyo* - Prof. Charles Larmore - *Columbia University, N. Y.* - Dr. Warren Levin - *World Health Medical Grova, N. Y.* - Janet Loughridge - *American Health Foundation, N. Y.* - Dr. William Love - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* - Dr. John Maisey - *American Museum of Natural History, N. Y.* - Alan Macher - *Information Systems Group, N. Y.* - Dr. James Macpherson - *Engineering consultant, Virginia* - Eli Martin - *Architect, N. Y.* - Derrick McDowell - *Science consultant, N. Y.* - Elvin McDonald - *Author, N. Y.* - Dr. Kenneth Meisler - *Preventive and Sports Medical Center, N. Y.* - Jim Marchese - *Photographer, N. Y.* - Dr. Judith Molnar - *Biologist, N. Y.* - Dr. Peri Namerov - *Center for Population and Family Health, N. Y.* - Lt. Joseph Nimmich - *U.S. Coast Guard, N. Y.* - Dr. Ruth Nussenzweig - *NYU Medical Center, N. Y.* - Dom Perciballi - *Emergency medical technician, N. Y.* - Felix Peruggi - *Fireworks by Grucci, N. Y.* - Alice Petropoulos - *National Council on Alcoholism, N. Y.* - Prof. James Polshek - *Columbia University, N. Y.* - David Pope - *Editor consultant, Connecticut* - Walter Reed - *National Automatic Merchandising Association, Illinois* - Dr. Ronald Rieder - *Psychiatrist, N. Y.* - Robert Robertson - *Oceaneering, Inc, Texas* - James Rosenthal - *Magnet Paint and Varnish, N. Y.* - Joe Scherer - *Cinema Interface, N. Y.* - Dr. Ralph Shutt - *Brookhaven National Laboratory, N. Y.* - Prof. Philip Smith - *Columbia University, N. Y.* - Betty Sprigg - *Pentagon, Washington, D. C.* - Timothy Steinhoff - *Gardening consultant, N. Y.* - D. William Strohmeier - *Ad Astra Communications, Connecticut* - Dr. Joseph Thach - *Pentagon, Washington, D. C.* - Peter Tischbein - *U.S. Army Corps of Engineers, N. Y.* - Joe Trammell - *NAVASYNC Sound, N. Y.* - Debbie Triantaphyllou - *MITER Inc.* - K.C. Tung - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* - Prof. David Tyler - *Columbia University, N. Y.* - James Walkup - *New School for Social Research, N. Y.* - Walter Washko - *University of Connecticut, Connecticut* - Aura Weinstein - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N. Y.* - Lilian Yung - *Columbia University, N. Y.* -

Entre los años 1850 y 1860, Gregor Johann Mendel, monje austriaco residente en un monasterio checoslovaco, alternaba la labor de enseñar en una escuela media local con el trabajo científico en el jardín de su monasterio, donde había puesto en marcha una serie de cuidadosas investigaciones sobre la herencia biológica en los guisantes, cuyos resultados habrían de revolucionar la ciencia de la Biología. Sus conclusiones, publicadas en 1866, fueron, por desgracia, totalmente ignoradas en su época. Mendel murió en 1884, a la edad de 62 años, sin saber que más tarde sería considerado el padre de la Genética.

Los experimentos del citado monje austriaco trataban de aclarar el mecanismo de la herencia, es decir, los procesos a través de los cuales se transmiten, en las plantas y animales, las semejanzas y diferencias entre los progenitores y sus descendientes. En los humanos son hereditarias, entre otras, las diferencias en el color de los ojos, en las dimensiones de los pulmones e incluso en la predisposición a padecer determinados tipos de cáncer.

Mendel trabajó principalmente con guisantes, plantas que pueden estudiarse con facilidad. Intentó descubrir qué sucede al cruzar un guisante de flores blancas con otro de flores violetas, o bien al cruzar plantas altas con plantas bajas, y encontró que las flores de las plantas nacidas del primer cruzamiento eran o bien blancas o bien violetas, pero nunca de un color entre blanco y violáceo, y que las plantas nacidas del segundo tipo de cruzamiento eran altas o bajas, pero nunca de altura intermedia.

Mendel atribuyó estos resultados a la existencia de unidades hereditarias discretas, lo que hoy en día denominamos genes, que se transmiten a través de las

células reproductivas de los progenitores y coexisten sin mezclarse en las células somáticas de las descendientes.

Pares de genes Las células somáticas de todos los organismos que se reproducen sexualmente, como los seres humanos y los guisantes de Mendel, contienen no uno sino dos ejemplares de cada gen, uno proveniente del padre y otro de la madre. A su vez, durante la formación de los gametos, ambos ejemplares de cada gen se separan, yendo el ejemplar materno a unos gametos y el paterno a otros.

Si las versiones paterna y materna de determinado gen llevan exactamente la misma información en cierto individuo, dicho individuo es un *homocigoto* para ese gen; si las versiones paterna y materna difieren, se trata de un *heterocigoto*. Mendel descubrió que en las plantas con diferentes versiones del gen estudiado —en nuestra terminología: en las plantas heterocigotas— aparece el efecto de la versión paterna o de la materna, pero no de ambas. Mendel llamó *dominante* a la versión cuyo efecto era manifiesto en el híbrido, y *recesivo*, al gen alternativo. Por ejemplo, cuando cruzó plantas altas con plantas bajas los descendientes eran altos, lo que atribuyó a la dominancia de la unidad hereditaria para carácter "alto" respecto a la correspondiente para "bajo".

Mendel postuló, correctamente, que la unidad hereditaria para carácter "bajo" permanecía presente en el híbrido, aun sin manifestar directamente sus efectos. Si esta idea es correcta, el gen que en homocigosis determina "altura baja" debería manifestarse en la descendencia de las plantas híbridas. Si llamamos *T* al gen de las plantas altas homocigóticas, y *t* al de las plantas bajas, los gametos de las plantas heterocigóticas, *Tt*—"altas", llevarán el

gen *T* en la mitad de los casos y el *t* en la otra mitad. Por tanto, de la autofecundación de esas plantas resultarán cuatro combinaciones de genes: *TT*, *Tt*, *tT* y *tt*. Dado que tres de las cuatro posibles combinaciones darán lugar a plantas altas, en un gran grupo de plantas de guisantes descendientes de una *Tt* solamente un 25% serán bajas. Mendel encontró que aproximadamente un 75% de los descendientes de plantas altas híbridas eran altas, y el resto, bajas.

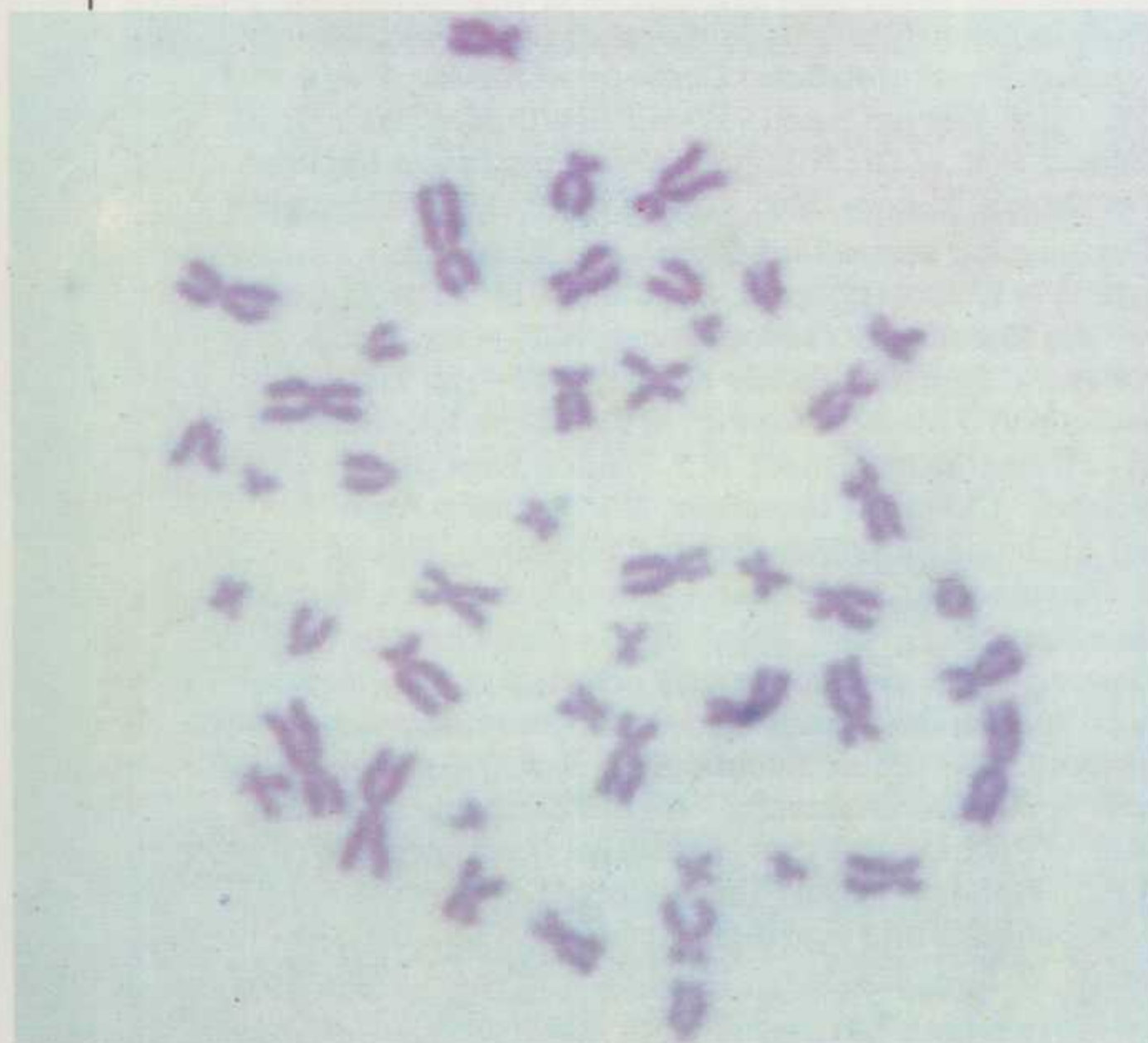
Las leyes de Mendel fueron redescubiertas en 1900, cuando ya los biólogos estaban preparados para comprenderlas.

Qué son los genes Una vez descubierto cómo se transmiten los genes, quedaba por resolver el problema de su naturaleza, es decir, de cómo los genes controlan el aspecto y desarrollo de los individuos. Hacia 1940 se encontraron pruebas de que los genes actúan controlando la síntesis de proteínas, compuestos esenciales de todo organismo. Esas ideas se fueron concretando hasta convertirse en la célebre hipótesis "un gen-un enzima", según la cual cada gen determina la síntesis de una proteína específica.

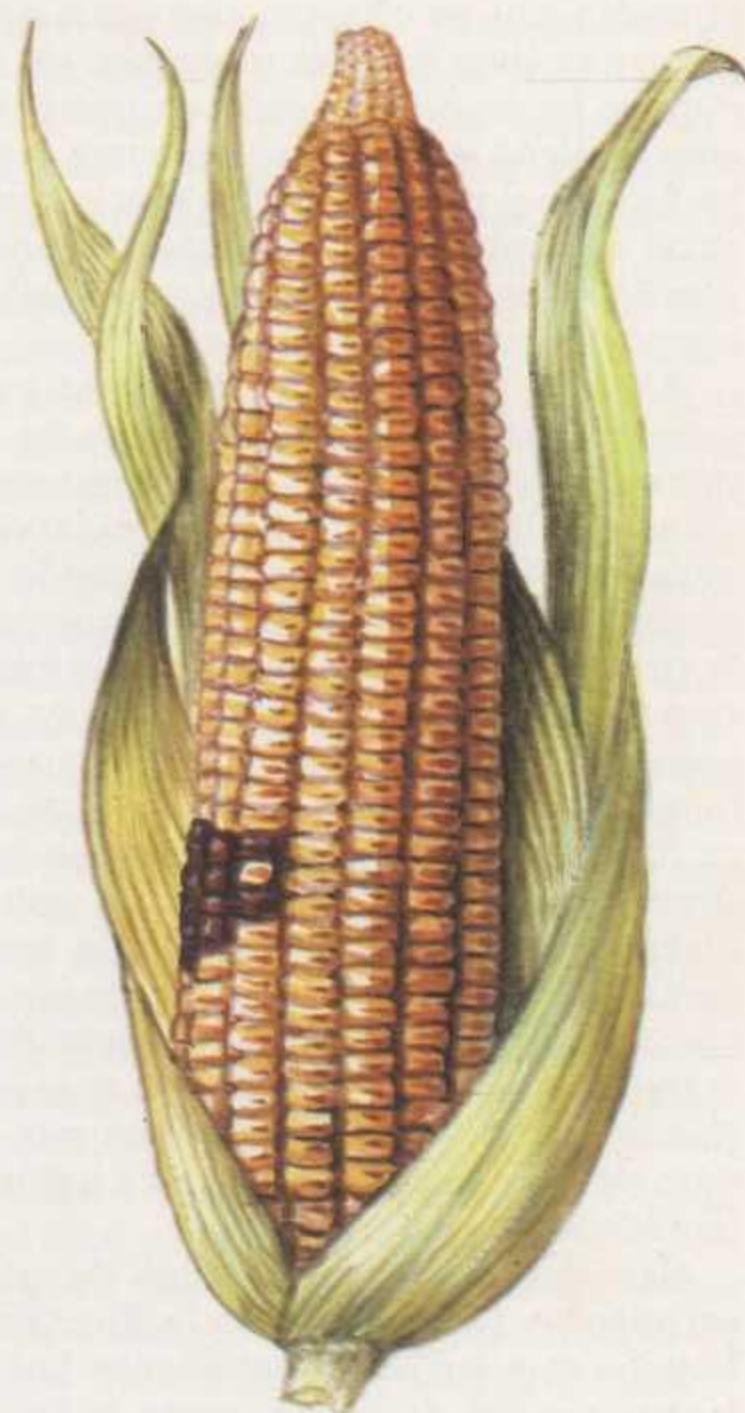
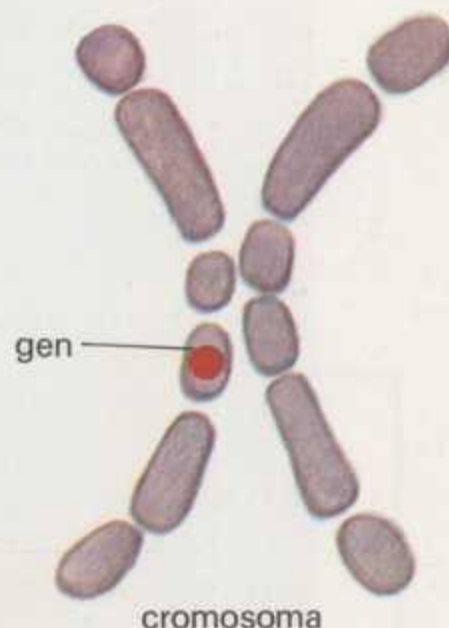
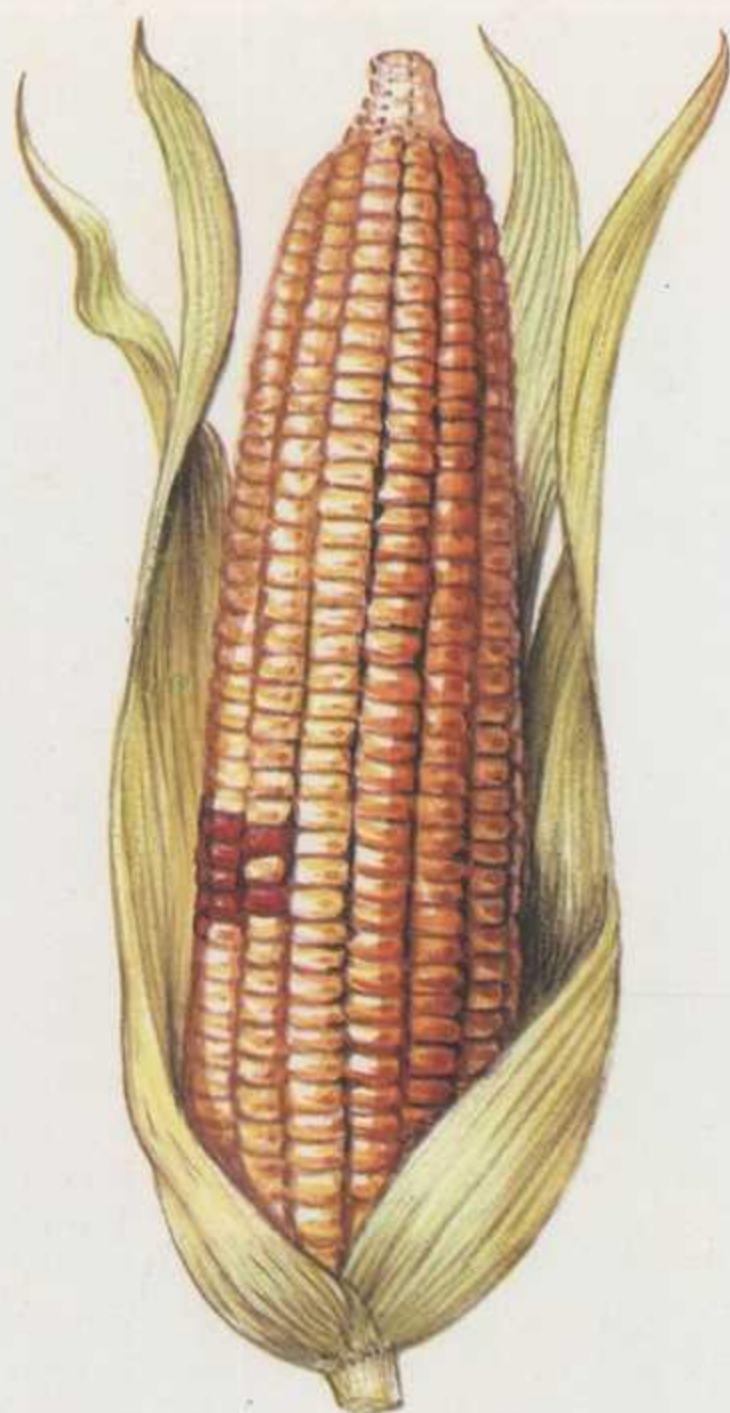
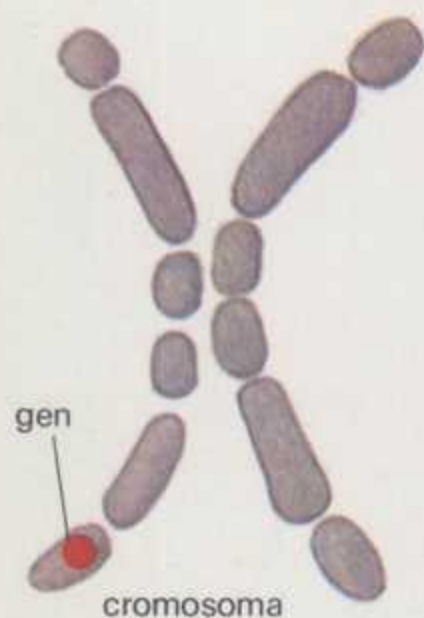
A comienzos de los años cincuenta se descubrió que el material genético de las células está constituido por las largas y finas cadenas de una compleja sustancia denominada *ácido desoxirribonucleico* o, de modo más simple, ADN. La estructura primaria de cada proteína viene codificada en un segmento específico del ADN celular. Así pues, las unidades hereditarias de Mendel, o genes, resultaron ser segmentos funcionales de una molécula informativa: el ADN.

Cada molécula de ADN consta en realidad de dos partes complementarias, que pueden separarse con relativa facilidad al mantenerse unidas no por enlaces covalentes sino por puentes de hidrógeno. Lo sorprendente es que al dividirse longitudinalmente el ADN en sus dos mitades complementarias, cada una de ellas puede actuar de molde para la síntesis de otra complementaria, formándose de este modo dos moléculas de ADN similares a la original. La estructura del ADN explica, por tanto, las dos propiedades esenciales de los genes: su capacidad de replicarse y la de controlar el desarrollo y metabolismo del organismo.

No obstante, el que la base molecular de la herencia fuese el ADN planteó un nuevo enigma. En las células eucariontes, como las de los animales y las plantas, la síntesis de las proteínas tiene lugar en el citoplasma, mientras que el ADN se encuentra empaquetado en unos orgánulos filamentosos, llamados *nomosomas*, presentes en el núcleo de la célula. ¿Cómo podría, entonces, el ADN dirigir desde el núcleo la síntesis de proteínas en el citoplasma? Pronto se descubrió que la síntesis de proteínas no está dirigida directamente por el ADN, sino por moléculas de una sustancia muy parecida al ADN: el *ácido ribonucleico* o ARN. Las moléculas de



Los genes son moléculas de ADN, una sustancia compleja cuya secuencia de bases nitrogenadas transporta la información genética. En las células dotadas de núcleo, el ADN se encuentra unido a proteínas, formando unos cuerpos fáciles de colorear y visibles al microscopio, llamados *cromosomas*, cuyo número es característico de la especie de seres vivos de que se trate. En la fotografía que aparece en esta página, dotación cromosómica, vista al microscopio, de la especie humana.



A pesar de los intensos estudios sobre los mecanismos genéticos que determinan los caracteres hereditarios, no siempre podemos predecirlo todo. El maíz indiano presenta variaciones del color de las semillas de una misma generación cuya base genética sólo se ha explicado recientemente. En un laboratorio de

Long Island (Nueva York), se ha descubierto que un grupo de genes (indicado en rojo) puede cambiar su posición en los cromosomas, determinando las modificaciones del color de las semillas. Un fenómeno similar, de genes que cambian de posición, se ha observado en las bacterias.

ARN se sintetizan en el núcleo bajo la dirección del ADN, en un proceso llamado *transcripción*, y posteriormente emigran al citoplasma, donde organizan la síntesis de proteínas. En términos moleculares, como acabamos de ver, las funciones primarias de los genes son dos: la *replicación* y la *transcripción*.

Los operones Muchos genes no están continuamente transcribiéndose, sino que sólo lo hacen cuando las proteínas que codifican pueden ser útiles a la célula. Por ejemplo: las proteínas que metabolizan el azúcar lactosa sólo se sintetizan cuando dicho azúcar se halla presente en el medio de la célula. En 1961, los biólogos franceses François Jacob y Jacques Monod postularon un mecanismo hipotético para explicar la *regulación* de la transcripción de los genes bacterianos. Su hipótesis, llamada del *operón*, se ha visto totalmente confirmada por los hechos.

Un operón consiste en un conjunto de *genes estructurales* adyacentes que se transcriben coordinadamente en una larga molécula común de ARN: un ARN po-

ligénico. La decisión de si los genes estructurales se transcribirán o no en cierto momento depende del estado de un segmento de ADN adyacente al primer gen estructural: el *operador*. Este segmento puede unirse a una *proteína reguladora*, codificada por un *gen regulador*, que puede estar cerca o lejos de los genes estructurales. Según el papel de la proteína reguladora, se distinguen dos tipos de control de los operones: negativo y positivo. En los operones sometidos a control negativo, la proteína reguladora actúa como un *represor*; cuando la proteína reguladora está unida al operador, no hay transcripción de los genes estructurales —el operón está reprimido—; cuando el operador está libre, sí hay transcripción —el operador está inducido—. En los operones sometidos a control positivo, la proteína reguladora actúa como un *inductor* de la transcripción: cuando el operador está libre, no hay transcripción de los genes estructurales, y cuando la proteína reguladora se une al operador, el operón se induce. En ambos casos, la decisión de si la proteína reguladora se unirá o no al operador depende de una pequeña molécula, distinta para cada operón, que en los operones de control negativo actúa como anti-represor, impidiendo la unión del represor al operador, y en los de control positivo, como no-inductor, facilitando la unión. Por ejemplo, los azúcares lactosa y arabinosa son metabolizados por enzimas cuyos genes forman parte de un operón sometido a control negativo en el caso de la lactosa y a control positivo en el de la arabinosa. Pues bien, la lactosa bloquea la unión del represor al operador, mientras que la arabinosa facilita la unión del induc-

tor al operador respectivo; de este modo, en ambos casos sólo se sintetizan los enzimas cuando el azúcar que metabolizan está en el medio.

En el caso de los seres humanos, y en general de los animales, no se ha demostrado la existencia de operones, aunque sí la de genes cuya transcripción está regulada. En muchos casos, las pequeñas moléculas reguladoras son *hormonas*.

Las mutaciones Una mutación es un cambio estable en una molécula de ADN. En ocasiones, el ADN mutado origina una proteína idéntica a la original. Estas mutaciones que no alteran la expresión del gen se denominan, por motivos obvios, *mutaciones silenciosas*. Más frecuentemente, el gen mutado produce una proteína diferente o muy diferente de la original. En esos casos lo normal es que la proteína mutante haya perdido su función inicial; más raramente la habrá mejorado, o habrá adquirido una nueva función. En consecuencia, el destino de la mayoría de las nuevas mutaciones es desaparecer de las poblaciones por efecto de la selección natural; sólo raramente persistirán, haciendo aparecer características hereditarias nuevas que no estaban codificadas previamente en el patrimonio genético de las generaciones precedentes.

En algunas ocasiones el efecto de un gen mutante sólo se manifiesta en determinadas condiciones. Un claro ejemplo de estas *mutaciones condicionales* lo tenemos en los mutantes termosensibles del hongo *Neurospora*. Estos mutantes crecen de modo normal a temperatura baja y no crecen, o muy lentamente, a temperatura alta; el efecto de la mutación sobre el cre-

cimiento sólo se observa, por tanto, a temperaturas altas. La base molecular de este curioso fenómeno consiste en que la versión mutante del gen produce una proteína funcional pero inestable, por lo que, al subir la temperatura, la proteína mutante pierde su estructura normal y con ello su función.

Algunas veces el efecto de una mutación consiste en anular el efecto de otra mutación anterior. Estas *mutaciones supresoras* pueden tener bases moleculares diversas. La mutación supresora puede, por ejemplo, afectar al mismo gen que sufrió la primera mutación; en ese caso puede que la mutación supresora consista simplemente en una *reversión* de la mutación inicial, devolviendo al gen su estructura y su función originales; o puede que introduzca un segundo cambio en el gen inicialmente mutado, de modo que ambos cambios se compensen, al menos parcialmente, y el gen doblemente mutante recupere su función. La mutación supresora puede, en otro caso, afectar a un gen distinto del inicialmente mutado: se habla entonces de un *gen supresor*.

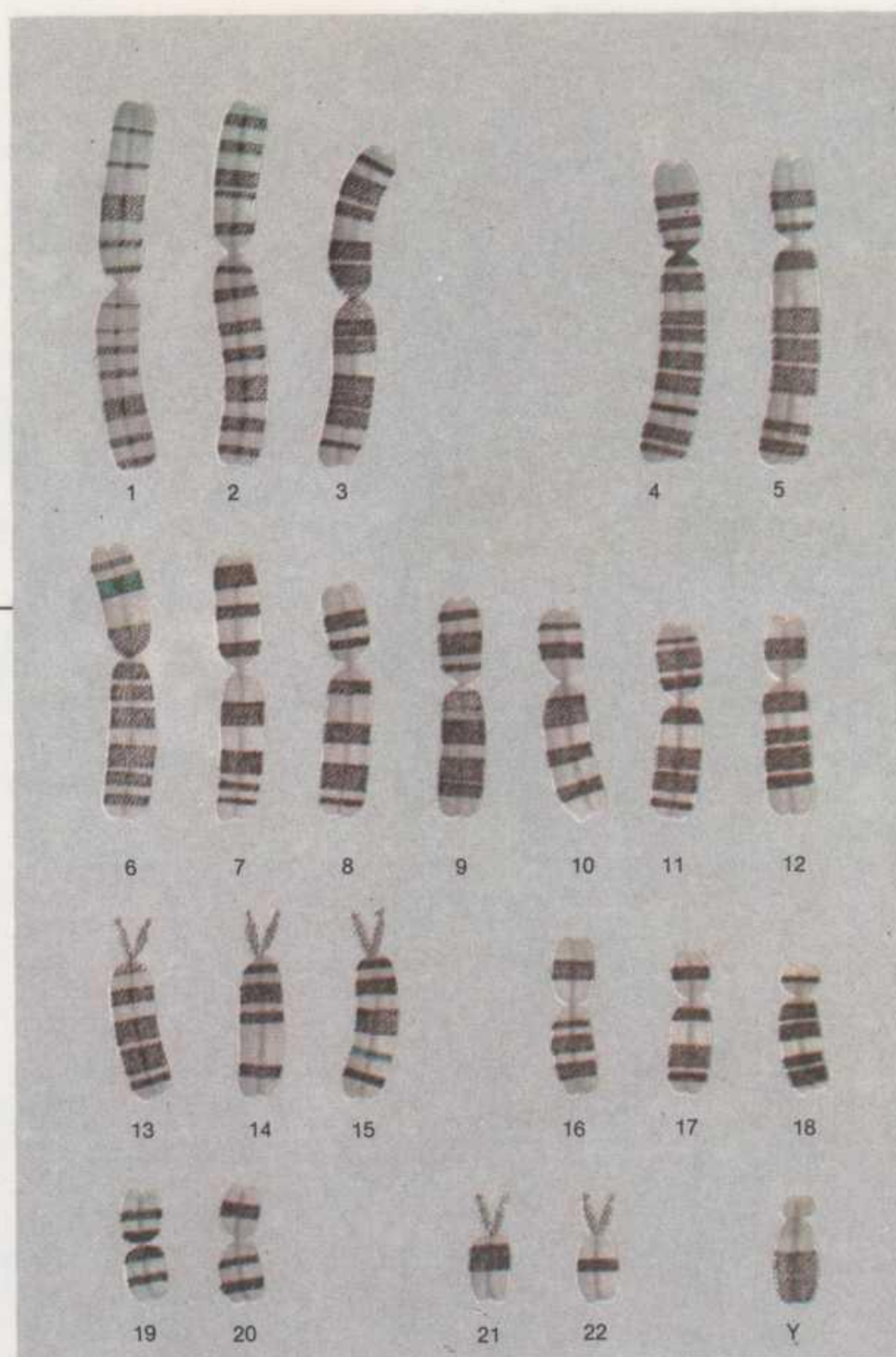
Hay dos clases principales de genes supresores: los que actúan indirectamente y los que actúan directamente. Los primeros suplen de algún modo la función perdida por la primera mutación, pero sin alterar la estructura primaria de la proteína mutante producida por el primer gen. Por ejemplo, si la primera mutación provocó la incapacidad de sintetizar determinado aminoácido, la mutación supresora indirecta provocará la recuperación de dicha capacidad, aunque por una ruta distinta de la original.

Los genes supresores directos actúan modificando la secuencia de aminoácidos de la primera proteína mutante; pueden llevar a cabo esa tarea porque sus productos intervienen directamente en la síntesis de proteínas, de modo que su producto alterado realiza incorrectamente dicha síntesis y, paradójicamente, corrige el efecto de la primera mutación.

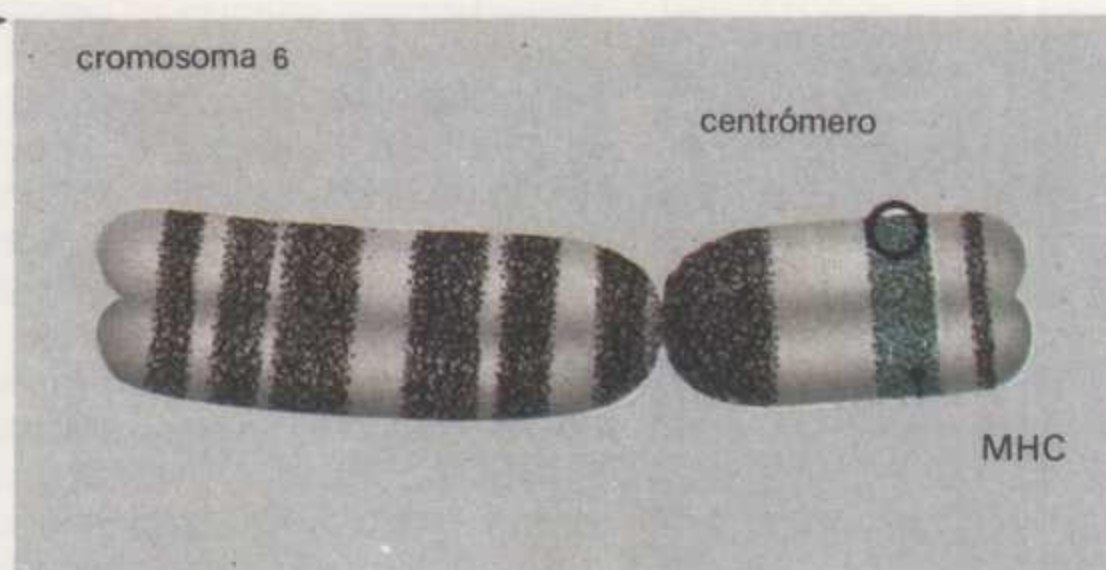
Podemos suponer que en los organismos con dotaciones genéticas altamente complicadas —como los seres humanos, que poseen al menos 40.000 genes— existirán numerosas mutaciones de pequeña entidad cuyo efecto no se manifestará por la acción de los genes supresores.

La existencia de los genes arriba mencionados es un claro ejemplo de cómo las funciones de los genes se modifican recíprocamente. Los genes supresores forman parte de un conjunto más amplio de genes modificadores cuyo efecto es modular la acción de otros genes. Algunos, los genes *amplificadores*, actúan aumentando los efectos de genes mutados, mientras que otros, los *alternadores*, disminuyen dichos efectos. Los genes modificadores son los responsables de los suaves matices de variación de color de ojos o pelo.

Véase **Biología molecular; Bioquímica; Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Evolución; Ingeniería genética; Mutación; Proteínas**



dotación cromosómica de origen paterno

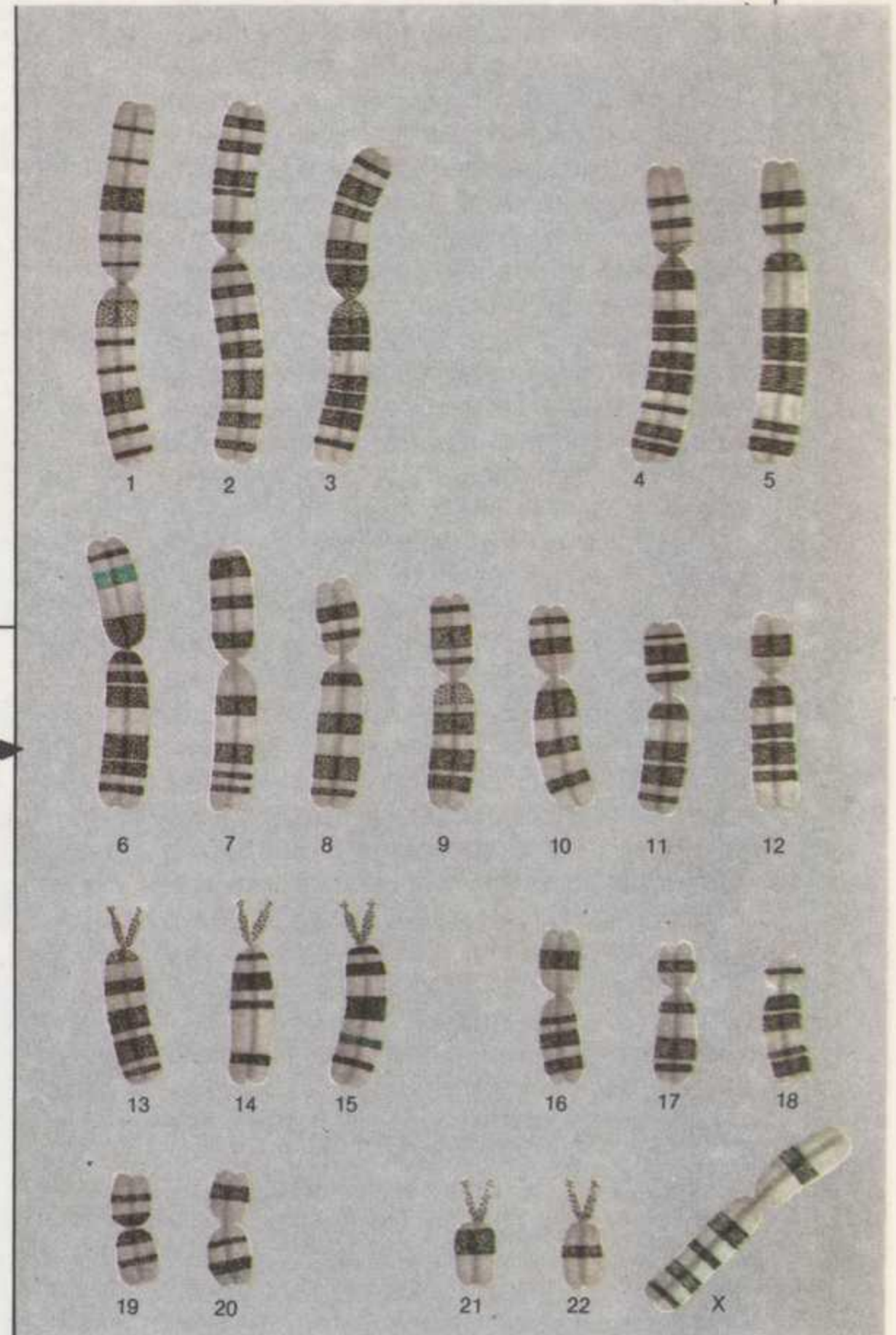
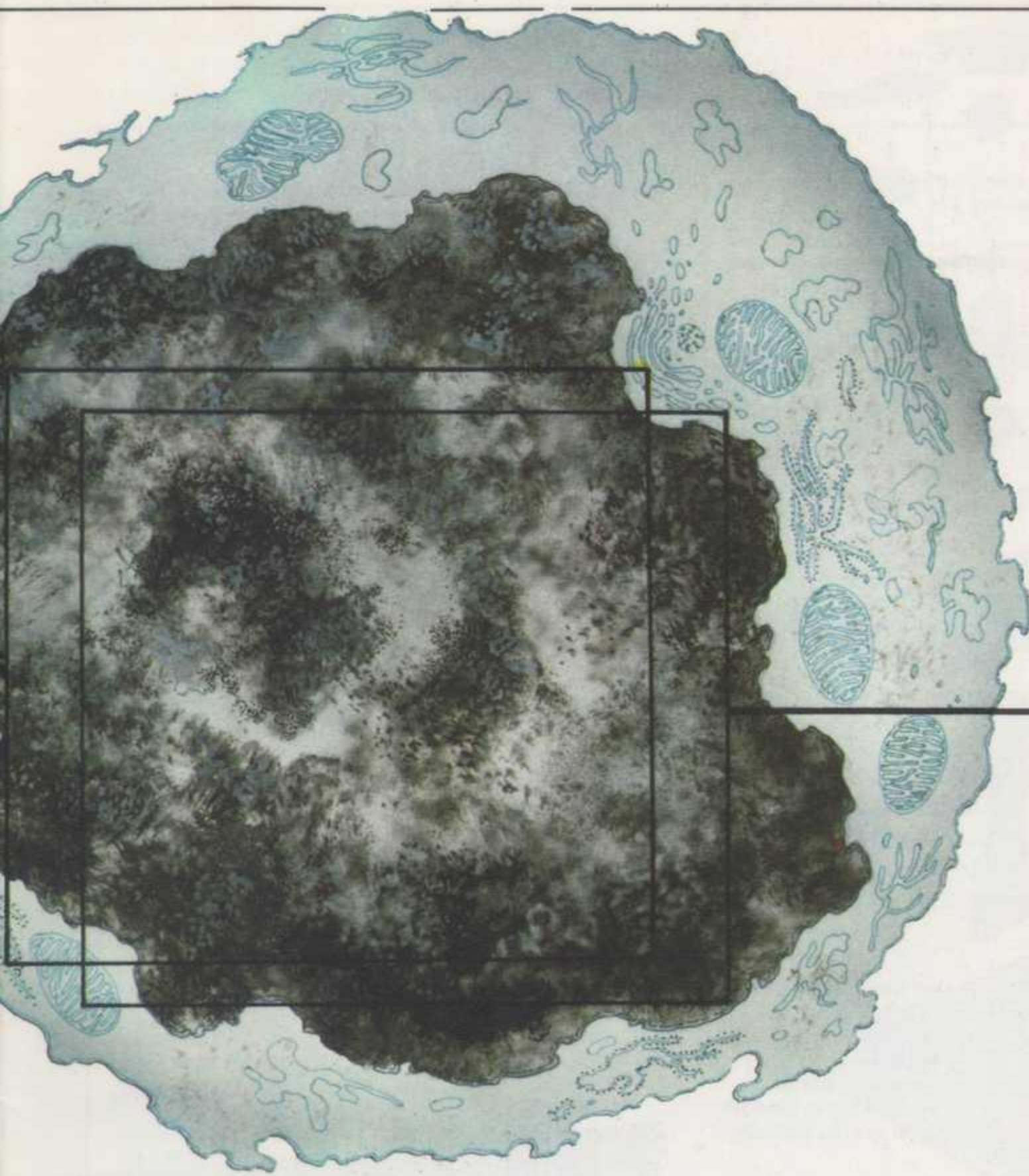


La dotación genética de los seres humanos está formada por 46 cromosomas. Cada cromosoma tiene

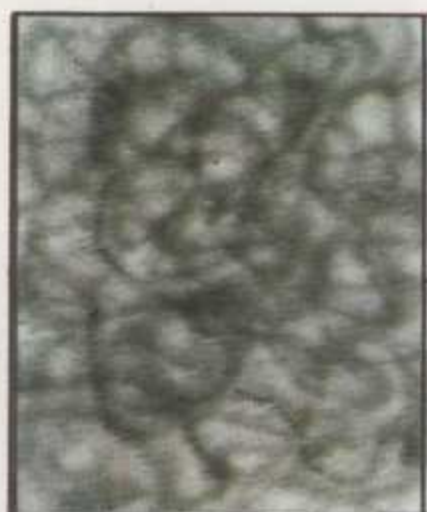
una forma típica, que permite, en las mujeres, clasificar el conjunto en 23 parejas de cromosomas

similares, llamados *homólogos*. Cada uno de los dos miembros de una pareja de cromosomas

homólogos deriva de un progenitor. Las 23 parejas de cromosomas homólogos se dividen



dotación cromosómica de origen materno



en un grupo de 22 parejas de autosomas y una pareja de cromosomas sexuales o *gonosomas*. En los

varones, los cromosomas sexuales son distintos, incluso en morfología, uno (X) del otro (Y); mientras

que en la mujer, por el contrario, son iguales, ya que en ella ambos cromosomas son de

tipo X. Recientemente se ha localizado la posición de muchos genes en los cromosomas humanos:

entre ellos el de un complejo génico, llamado MHC, muy importante para el éxito de los trasplantes

de órganos, localizado en un brazo del cromosoma 6. Pero aún queda demasiado por desentrañar.

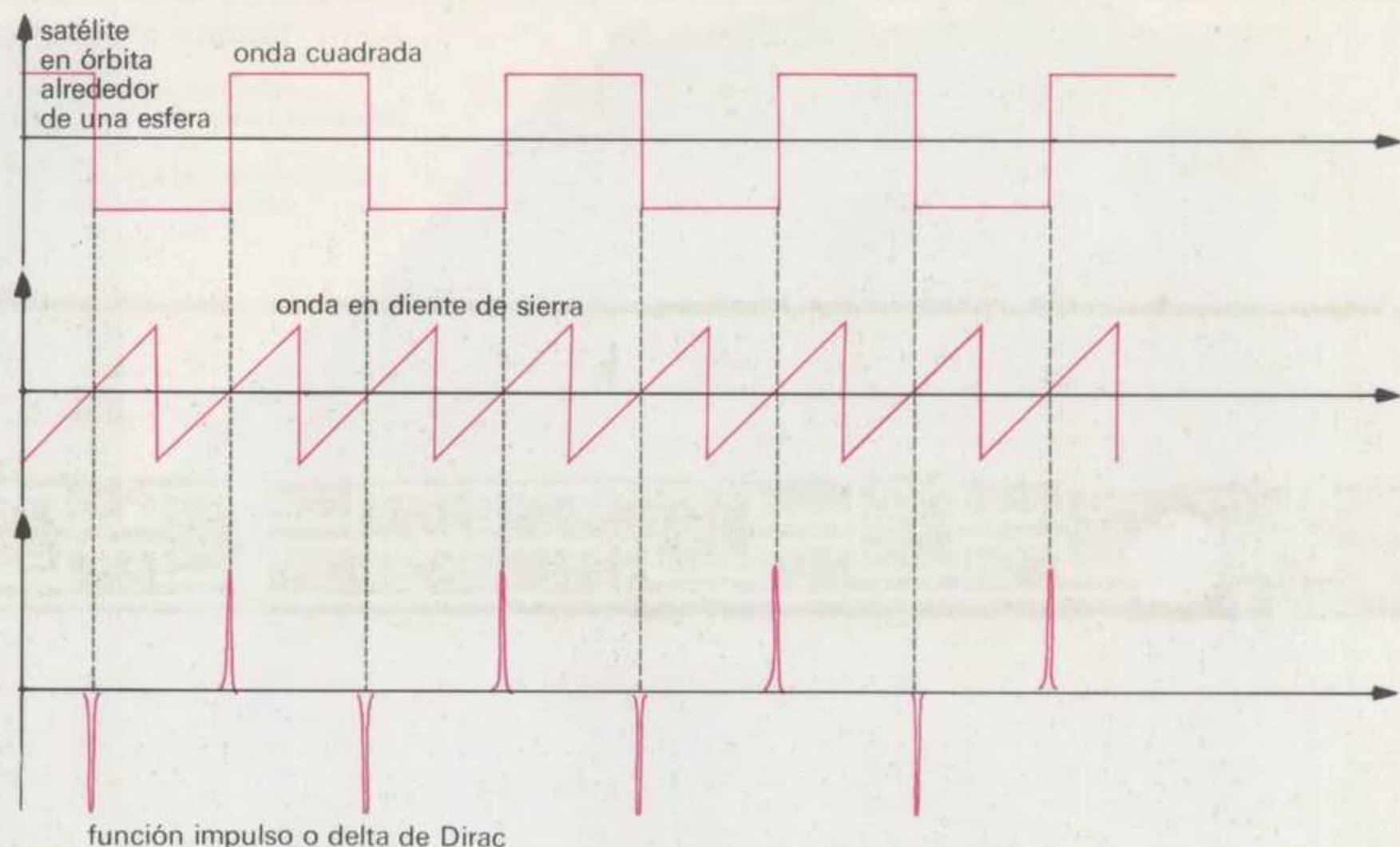
Generador de funciones

Casi todas las industrias tienen actualmente sofisticadas instrumentaciones electrónicas, lo que ha hecho aumentar fuertemente la demanda de aparatos de medida y control para su mantenimiento. Entre los instrumentos más importantes en el diagnóstico de averías de sistemas electrónicos están los *generadores de funciones*, que pueden generar señales parecidas a las que produce o procesa el sistema normalmente. Observando cómo procesa el sistema estas señales conocidas, los técnicos en electrónica pueden detectar y corregir los problemas que se presentan.

Los generadores de audio y radiofrecuencia Actualmente los generadores de funciones se utilizan sobre todo en los sistemas de proceso digital, pero su uso original —muy distinto al actual— tenía aplicación en telegrafía, sonido y transmisión por radio. Los sistemas de comunicación por radio, incluidas las redes de transmisión de televisión, utilizan una parte del espectro electromagnético llamada *radiofrecuencia* (RF). Los primeros ingenieros que se ocuparon de RF tenían que utilizar aparatos que producían gran cantidad de ruidos eléctricos, más o menos parecidos al zumbido que se puede oír algunas veces al hablar por teléfono o al escuchar la radio o la televisión. Para poder medir la calidad del aparato en funcionamiento, diseñaron los primeros generadores de funciones, hechos con tubos de vacío. Cada generador de funciones produce varias señales, que se utilizan dependiendo del sistema que se esté estudiando. Esta señal tiene que ser siempre la misma en los sistemas de comunicaciones para que en el lugar de recepción del sistema —por ejemplo, una estación de radio situada a una cierta distancia—, se pueda comprobar si hay alguna zona de la señal recibida que esté distorsionada. Muchas grabaciones emitidas por radio hasta el año 1950 iban precedidas por un sonido agudo (parte audible de la señal de prueba) que emitía la red para permitir que las estaciones receptoras controlasen la calidad de la recepción.

Hoy en día, para analizar la transmisión en televisión, existen generadores de funciones mucho más sofisticados. Como la televisión es un sistema electrónico mucho más complejo que la radio, los generadores de funciones tienen que poder generar docenas de funciones extremadamente precisas para examinar todos los aspectos del funcionamiento de un determinado sistema de televisión.

Generadores de funciones digitales La utilización de los sistemas digitales, donde toda la información está reducida a series de ceros y unos, ha necesitado un tipo completamente nuevo de generador de funciones, llamado también *analizador lógico*. Este dispositivo produce una sucesión de informaciones digitales que imita los contenidos normales de los sistemas de proceso de datos, permiti-



tiendo diagnosticar fallos de forma parecida al caso de los sistemas RF.

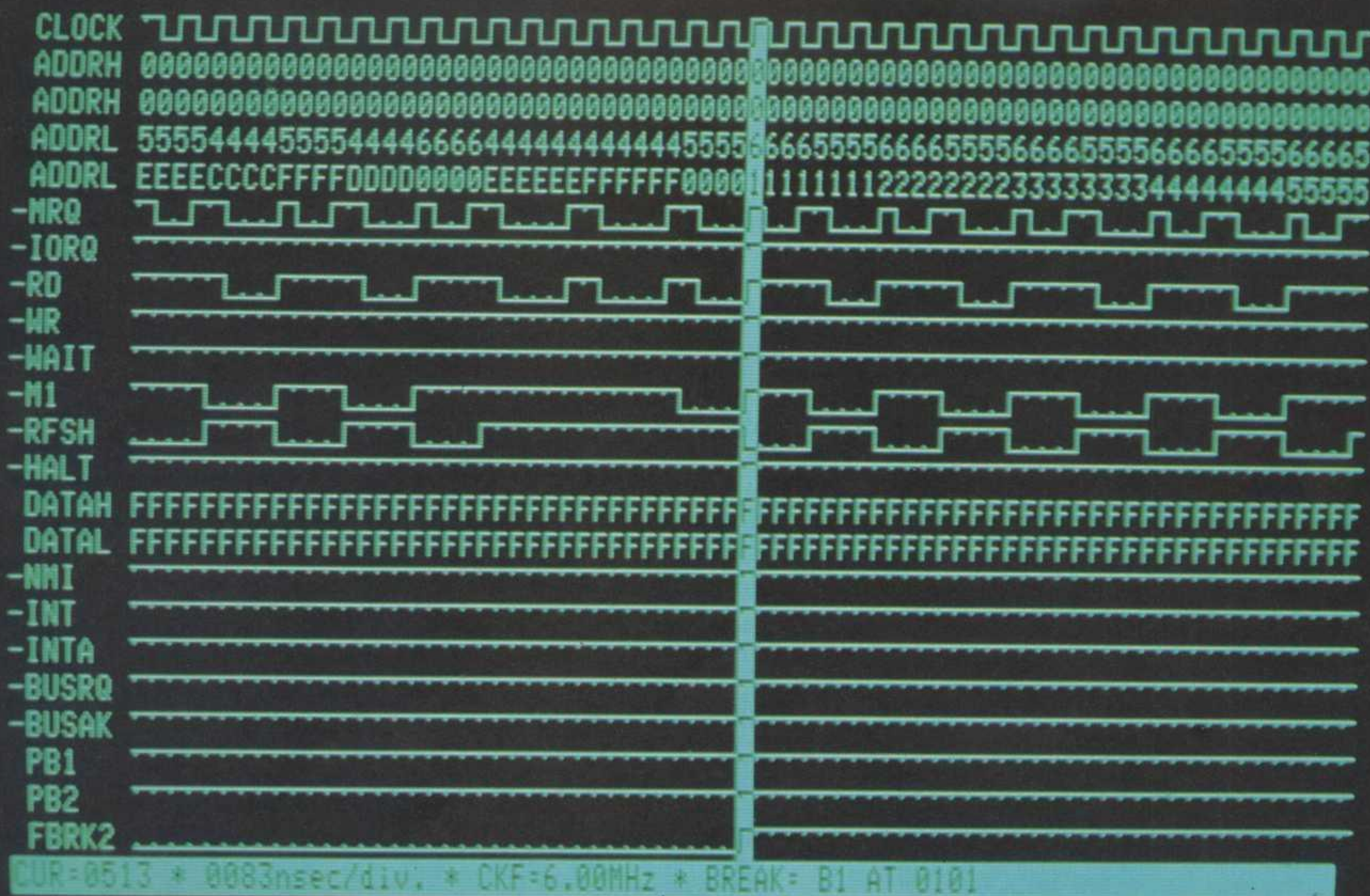
Un determinado sistema de cálculo (por ejemplo, uno de los utilizados en las grandes sociedades financieras para en-

viar información a sucursales lejanas), reduce todos los datos que remite a un formato específico. Cada "paquete" de datos puede estar formado por varios grupos de 96 cifras, codificadas en ceros y unos, y

Arriba, algunas de las funciones más simples que se pueden producir con un generador electrónico y visualizar en la pantalla de un osciloscopio. En primer lugar, la llamada *onda cuadrada*: se trata de una función donde los valores de tensión sucesivos son positivos y negativos. Se genera a través de una señal sinusoidal, que amplifica y recorta sucesivas veces, hasta que las partes ascendente y descendente de la señal se vuelven completamente verticales. La segunda función (en *diente de sierra*) se produce mandando a un condensador una corriente constante, que hace que la tensión en su bornes aumente linealmente. Cuando ésta ha alcanzado un determinado valor, se descarga el condensador bruscamente. Debajo, funciones impulso, denominadas también *deltas de Dirac* (nombre de un premio Nobel en Física). Estas se obtienen simplemente derivando la onda cuadrada: la posición de las deltas representa la separación de los escalones de la onda cuadrada. La función delta de Dirac es nula mientras la onda cuadrada está en

un tramo horizontal, e infinita o muy grande durante un pequeño instante correspondiente a las subidas o bajadas de la onda cuadrada.





A la izquierda, los aparatos que se utilizan para estudiar el diagrama de estados de un circuito electrónico digital complejo. El circuito está conectado al sistema que se ocupa de introducir las señales digitales, es decir, impulsos de tensión en los distintos canales de entrada. Se recogen las señales de los canales de salida y se presentan en la pantalla para compararlas con las de entrada. Es de destacar que tanto en las señales de entrada como en las de salida la presentación se puede hacer a partir del dibujo del diagrama temporal de las tensiones en el sistema; también se puede realizar con una medida numérica de su estado. En este caso los números que se utilizan son los del sistema hexadecimal: el cero, las cifras del uno al nueve y las letras de la A a la F; sistema de numeración en base dieciséis, del que arriba vemos un ejemplo de función de estado.

precedido de 8 cifras que constituyen un código para informar al sistema de que lo que viene a continuación es un paquete de datos. A este código le sigue una *dirección*, una serie de cifras que especifican la posición exacta del sistema de cálculo a donde tienen que ir los datos. La dirección va seguida de los datos —por ejemplo, el interés que produce una determinada cuenta en un determinado día— y los datos a su vez van seguidos por otra serie de cifras, que forman la parte final e informan al sistema de que acaba la transmisión del paquete.

El analizador lógico utilizado para analizar un sistema de cálculo tiene que poder simular el formato exacto de las señales que procesa el sistema, que puede ser mucho más complejo que el ejemplo de arriba. Si una parte cualquiera del sistema funciona de forma incorrecta, el uso de una o más secuencias de datos que produce el generador puede hacer posible la detección del fallo. Estos generadores son en realidad muy parecidos a pequeños ordenadores, y, para generar las señales, utilizan el mismo tipo de circuitos que la mayor parte de los ordenadores.

Véase **Control de procesos industriales; Electrónica**

Genética

De vez en cuando, en el transcurso de la historia, ocurre que ciertos descubrimientos científicos estimulan la imaginación popular y la de los investigadores, determinando cambios muy profundos en la visión que las personas tienen del mundo. Uno de esos cambios fue el originado por las revolucionarias teorías físicas de Albert Einstein y Max Plank, que destruyeron los tradicionales postulados de la Física clásica. Otra revolución científica, si bien de naturaleza muy distinta, ha sido la originada por el desarrollo de la Genética.

La historia de la Genética es bien conocida. Desde hace miles de años, los agricultores y ganaderos saben que los organismos vivientes heredan muchas características de sus progenitores; por ejemplo, que de perros con manchas en la piel nacen cachorros con manchas y que de semillas de razas de trigo resistentes al frío nacen plantas resistentes al frío. El mecanismo por el que tales características hereditarias se transmitían en el curso de las generaciones era, sin embargo, desconocido. En el siglo IV antes de Cristo, el filósofo griego Aristóteles sugirió que la sangre podía jugar un papel muy importante en el mecanismo de la herencia. Tal teoría, errónea, fue aceptada durante mucho tiempo.

Las primeras investigaciones científicas de Genética fueron llevadas a cabo por el monje austriaco Gregor Mendel. Descubrió que, por ejemplo, del cruce de plantas de guisantes de tallo alto con otras de tallo bajo nacen plantas de tallo alto o bajo, pero no de altura intermedia, y que el porcentaje de ambos tipos entre los descendientes de un cruce controlado puede ser predicho ateniéndose a su teoría sobre el mecanismo de la herencia. Dicha teoría, correcta, sostiene que en las plantas y en los animales hay parejas de unidades hereditarias que coexisten sin modificarse ni mezclarse y que, durante la formación de los gametos, cada gameto recibe sólo un ejemplar de cada pareja, de modo que al producirse la fecundación el huevo cigoto recibirá otra vez una pareja de unidades hereditarias: un ejemplar de origen paterno, y el otro, materno.

	U	C	A	G	
U	fenilalanina leucina metionina	serina	tirosina metionina	cisteína triptófano	U
C	leucina	prolina	histidina glutamina	arginina	C
A	iso-leucina formilmetionina	treonina	asparagina lisina	serina arginina	A
G	valina metionina	alanina	ácido aspártico ácido glutámico	glicina	G

Arriba, la clave genética que permite traducir los mensajes escritos en "lenguaje" de ADN a "lenguaje" de proteínas. El "lenguaje" de ADN se basa en un "alfabeto" de cuatro letras, que son las bases nitrogenadas. Cada grupo de tres letras, o triplete, constituye una "palabra" o *codón*. Salvo tres que sirven para indicar dónde acaba el mensaje, cada una de esas palabras corresponde a un aminoácido. En consecuencia, la secuencia de bases

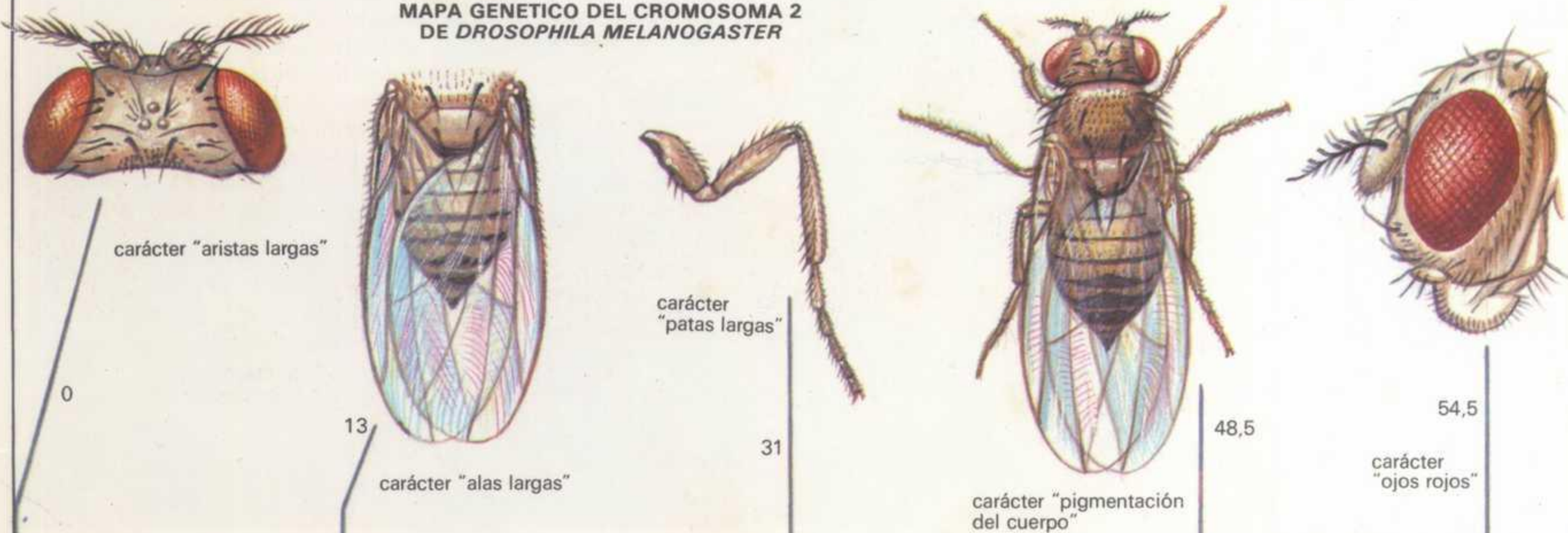
del ADN codifica la secuencia de aminoácidos de las proteínas. La elucidación de la clave genética se remonta a los años sesenta, y su descubrimiento ha permitido la interpretación y la modificación de los fenómenos biológicos en su nivel más profundo de organización. Antes de descifrar la clave genética, los genetistas habían localizado sobre los cromosomas los puntos, o *loci*, en los que se sitúan los genes para los

diversos caracteres. Abajo, mapa del cromosoma 2 de la *Drosophila melanogaster*, una mosca muy utilizada en estos estudios. El mapa genético se obtiene evaluando la distribución de los caracteres en la descendencia de numerosos

cruzamientos llevados a cabo en el laboratorio. Varios puntos cromosómicos pueden tener relación con un mismo carácter. Se han obtenido los mapas genéticos de los cromosomas de muchas especies distintas, entre ellas el ratón y el hombre.

Los trabajos de Mendel, publicados en un oscuro periódico en 1866, permanecieron casi totalmente desconocidos hasta 1900, año en el que las leyes de Mendel fueron redescubiertas independientemente por tres científicos, cada uno de los cuales se dedicó de manera sistemática y

MAPA GENETICO DEL CROMOSOMA 2 DE *DROSOPHILA MELANOGASTER*



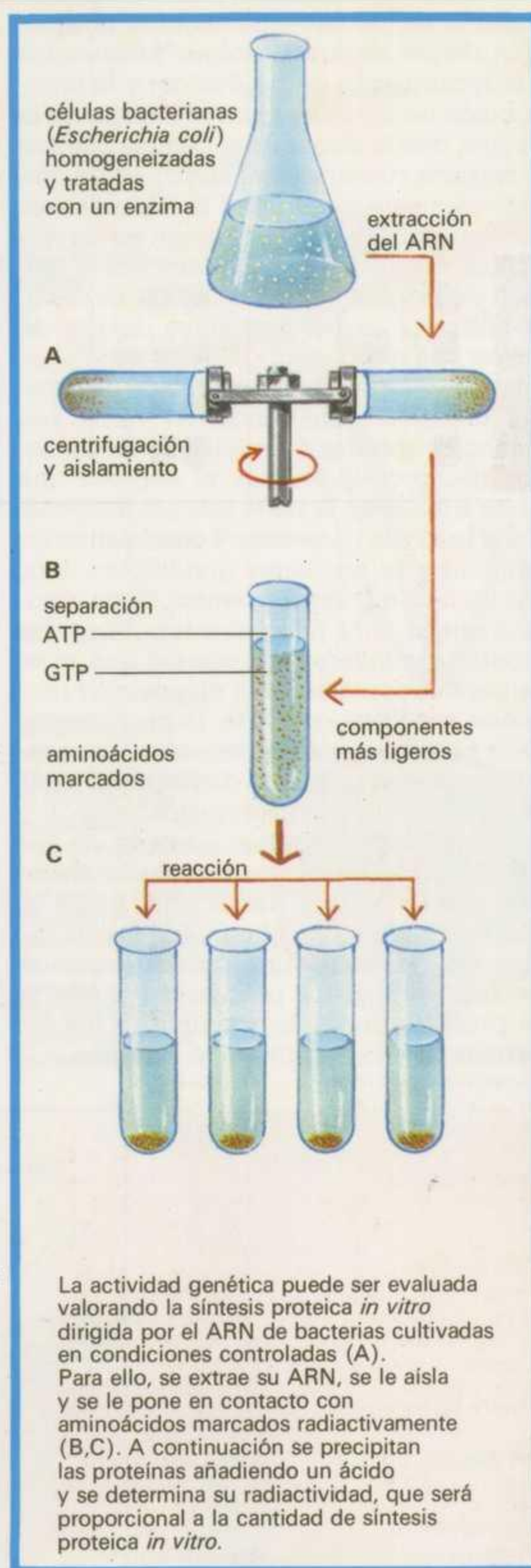
en profundidad a estas investigaciones. Después de algunos años, las unidades hereditarias cuya existencia había intuido Mendel fueron denominadas *genes* (del griego "originar"). Desde entonces, la Genética es la ciencia que estudia la naturaleza y comportamiento de los genes. Su desarrollo ha hecho progresar muchas ramas de la Biología y otras ciencias. Es difícil clasificar los diversos aspectos de la Genética actual; puede ser subdividida en dos campos principales: *Genética molecular* y *Genética de poblaciones*, entendiendo cada una de estas dos subdivisiones en un sentido muy amplio.

Genética molecular La Genética molecular, estrechamente ligada a la Microbiología genética, forma parte, junto con la Bioquímica y la Biofísica, de la llamada *Biología molecular*, una disciplina que trata de averiguar la base molecular de los fenómenos vitales. En concreto, uno de los objetivos primarios de la Genética molecular es averiguar la naturaleza química del gen y las bases físico-químicas de su comportamiento en las células.

En la primera mitad del siglo actual, se pensaba que el gen estaba constituido por proteínas, complejas moléculas formadas por aminoácidos y que tan importantes son en las células y tejidos animales y vegetales. Más tarde, en 1953, el estadounidense James Watson y el inglés Francis Crick elucidaron la estructura química del compuesto llamado *ácido desoxirribonucleico* o ADN, lo que permitió confirmar la sospecha de que esa sustancia es la molécula de la herencia.

El descubrimiento de la estructura del ADN condujo a un desarrollo impresionante de la Genética molecular, permitiendo comprender cómo los genes se replican y cómo controlan el metabolismo celular. Fue también posible comprender la base molecular de las mutaciones (variaciones, incluso mínimas, de la estructura química de los genes, que determinan cambios estables de los caracteres hereditarios).

Las mutaciones constituyen la fuente de variabilidad originaria del lento proce-



so de la evolución, proceso del que se ocupa la Genética de poblaciones.

Genética de poblaciones La Genética de poblaciones, ciencia con un fuerte contenido estadístico y matemático, estudia la base genética de la evolución.

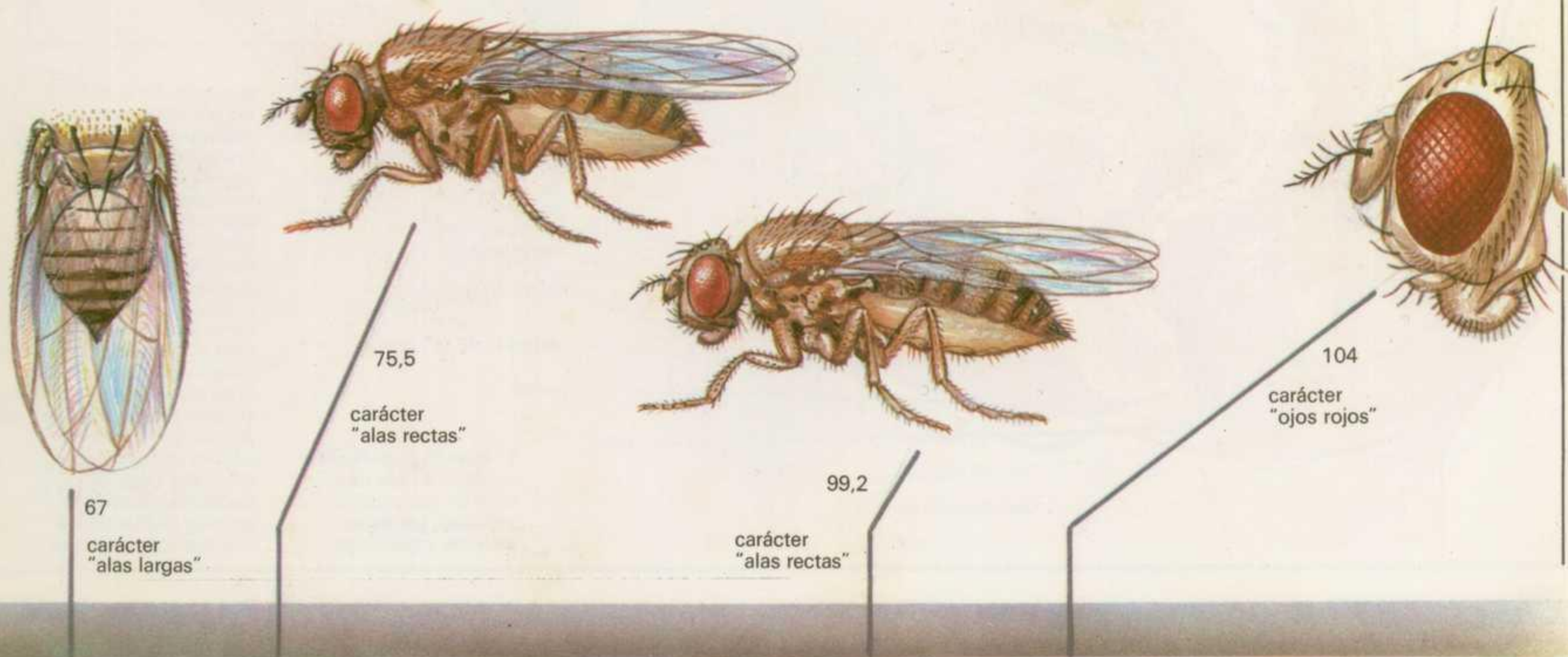
El desarrollo de la Genética de poblaciones requirió como condición previa entender en profundidad cómo se transmiten los genes en el seno de las familias, objetivo para el que los genetistas utilizaron como objeto de estudio una especie de díptero, la mosca de la fruta o *Drosophila melanogaster*, que, al tener sólo cuatro pares de cromosomas y reproducirse muy bien en cautividad, resulta fácil de estudiar.

En las especies que se reproducen sexualmente, cada individuo, salvo en el caso de los gametos monoovulares, tiene una composición genética ligeramente distinta de la de los demás miembros de la misma especie. Para determinar la variabilidad genética presente en las poblaciones naturales de seres vivos, ha resultado muy útil el empleo de la electroforesis, técnica que permite separar las proteínas según la rapidez con que se desplazan cuando están sometidas a un campo eléctrico.

Las frecuencias de las distintas versiones de cada gen en el seno de una población evolucionan guiadas por distintos factores, entre los que el tamaño de la población y la selección natural juegan un papel predominante.

La Genética de poblaciones y la Genética molecular, unidas, han ampliado considerablemente nuestra visión de los problemas vitales, permitiéndonos profundizar en nuestra comprensión de las fases anteriores de la evolución y prever los factores importantes de nuestra evolución futura.

Véase Cromosoma; Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Gen; Herencia; Ingeniería genética; Mutación; Reproducción; Sexo y diferenciación sexual



Genital, aparato

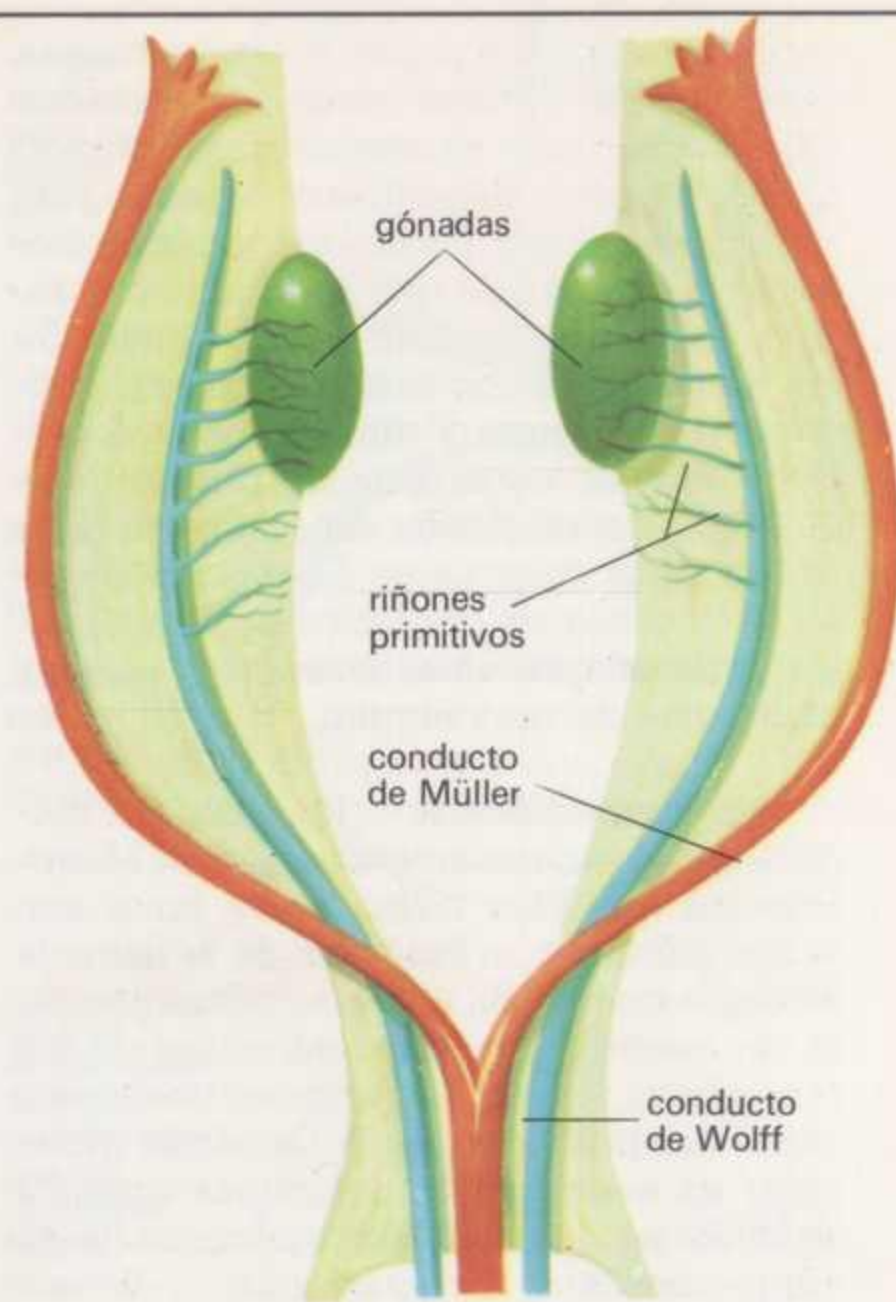
La única manera para la determinación del sexo de un embrión hasta el segundo mes del desarrollo consiste en examinar los cromosomas de sus células. Efectivamente, durante esta primera fase del desarrollo los órganos reproductivos, o genitales, están únicamente representados por unas pequeñas protuberancias situadas en la región abdominal. Los órganos genitales que tienen un desarrollo más precoz en el tiempo son los *testículos*, es decir, los órganos masculinos que producen los espermatozoides; en un embrión de sexo femenino, por el contrario, los *ovarios* u órganos productores de los ovocitos se desarrollan una semana más tarde, aproximadamente, con respecto al período de formación de los testículos.

En el momento del nacimiento, los genitales externos ya están completamente formados: en el sexo masculino, el pene y el escroto —bolsa que aloja a los testículos—; en el sexo femenino, la vulva y la vagina. Sin embargo, solamente en el momento de la pubertad, cuando los órganos genitales alcanzan su madurez, el individuo comienza a ser capaz de procrear. Los órganos genitales masculinos y femeninos están estructurados de modo que constituyen órganos complementarios y destinados a desempeñar papeles encaminados a la reproducción de la especie.

Organos genitales masculinos El papel que representa el macho en la repro-

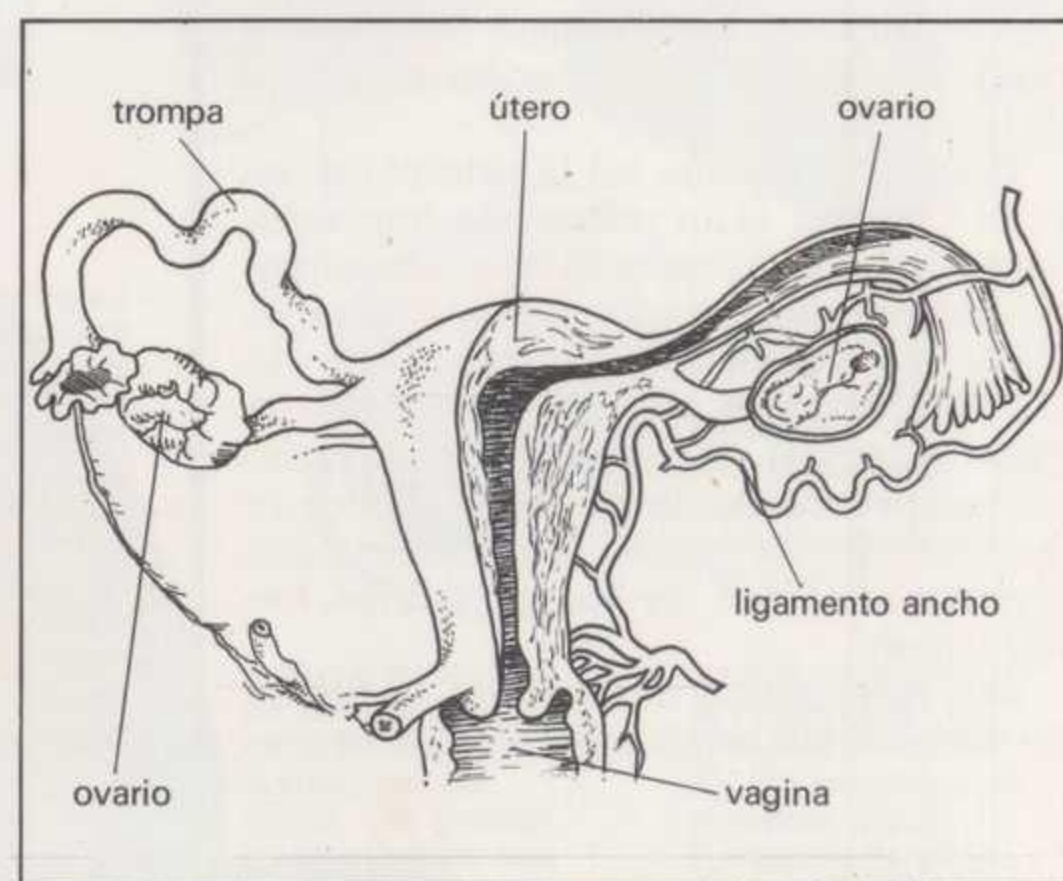
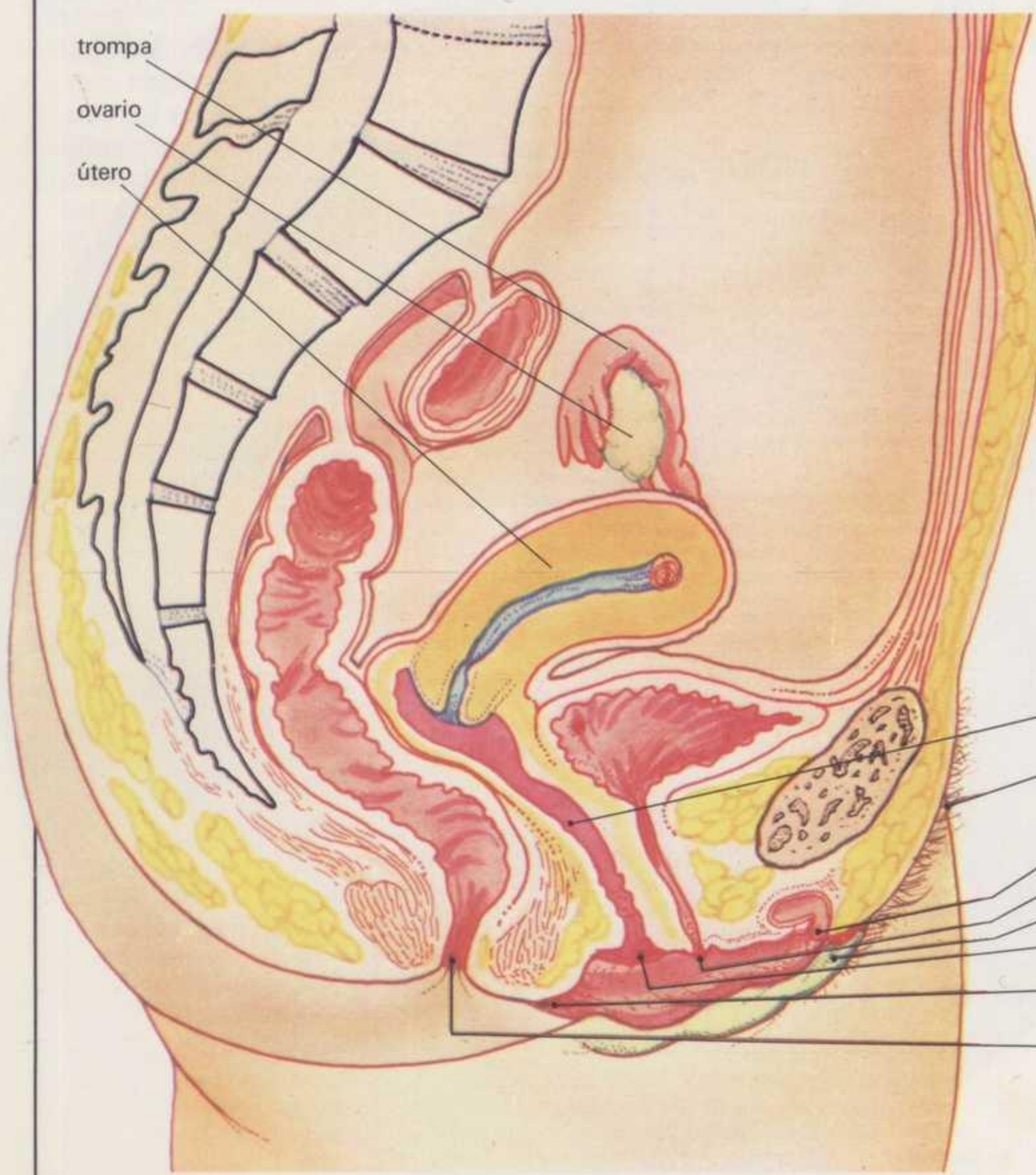
ducción es fundamentalmente la producción de los espermatozoides (destinados a la fecundación de los óvulos) y la introducción de los mismos en el interior de la vagina, desde donde esas células pueden alcanzar las trompas de Falopio, en las que habitualmente tiene lugar la fecundación. Los espermatozoides se forman en los testículos, los cuales poseen también la función de producir la testosterona, es decir, la hormona sexual masculina dotada de mayor actividad androgénica y a cuya acción se debe la aparición de los caracteres sexuales secundarios del varón. Los testículos son dos glándulas de forma esferoidal, protegidas por el escroto, una bolsa situada en la parte inferior del pene. Cada testículo tiene unos 4 centímetros de longitud y se encuentra dividido en unos 250 lóbulos o compartimentos. Cada lóbulo contiene unos pequeños tubulillos (los *túbulos seminíferos*) enrollados que, si se estiraran adoptando una disposición rectilínea, medirían cerca de 75 centímetros. En la pared interna de estos túbulos seminíferos es precisamente donde tiene lugar la formación de los espermatozoides.

Los espermatozoides, a través de los conductos existentes en el testículo, alcanzan el epidídimo y desde aquí pasan al conducto deferente, el cual transporta dichas células hasta una glándula situada delante del recto: la próstata, cuya misión es producir un fluido que unido a los espermatozoides constituye el *esperma*.



Los testículos y los ovarios tienen un origen común: derivan, en efecto, de un único esbozo embrionario, estrechamente ligado al aparato urinario. Solamente en el tercer mes tiene lugar la diferenciación. Del

esbozo de las gónadas derivarán los testículos o los ovarios; de los conductos de Wolff, las vías genitales masculinas, y de los conductos de Müller, las correspondientes vías genitales femeninas.



vagina
monte de Venus
clítoris
meato uretral
labios mayores
vestíbulo de la vagina
periné

El aparato genital está constituido por una serie de estructuras: gónadas, genitales internos y genitales

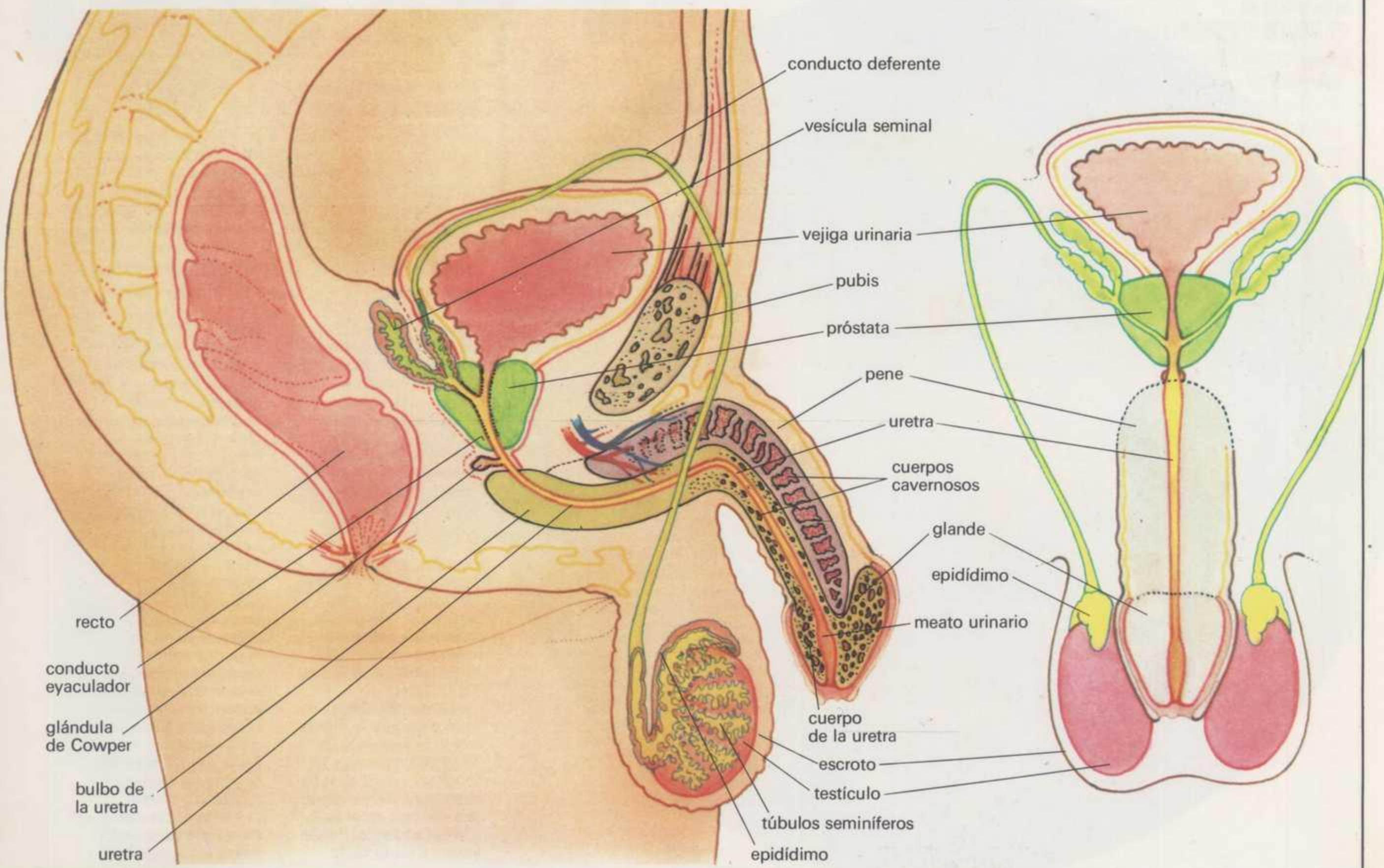
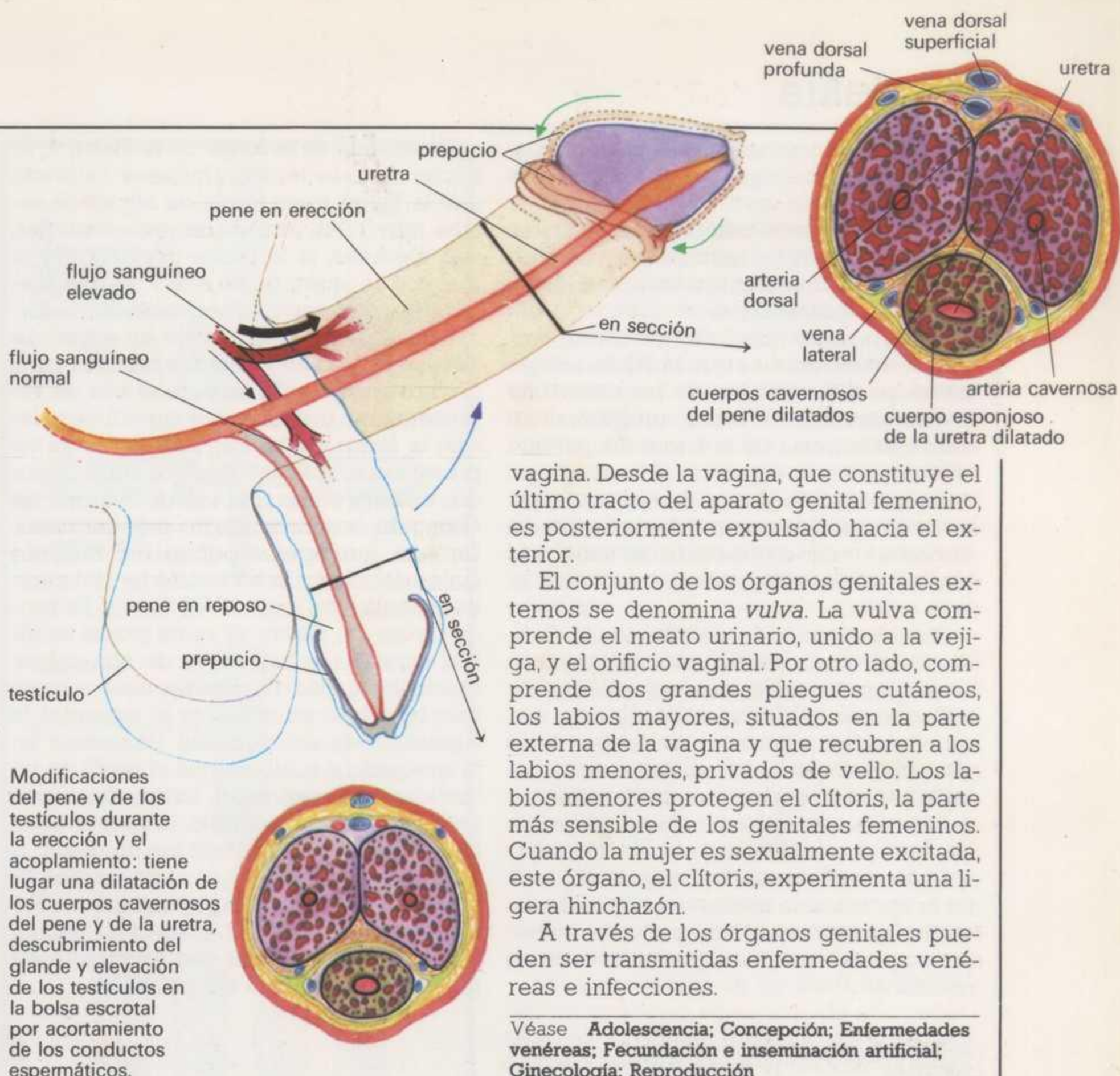
externos. En el hombre las gónadas están representadas por los testículos y en la mujer por los ovarios. Las gónadas representan el verdadero centro motor de todo el aparato genital, por cuanto producen las hormonas necesarias para el desarrollo y el potenciamiento de los órganos genitales, y constituyen los lugares de producción de las células germinales. En estas dos páginas podemos observar la sección sagital de los dos aparatos genitales.

Desde la próstata, y a través de los conductos eyaculadores, el espermatozoide alcanza el pene, y desde este órgano, por medio de la eyaculación que tiene lugar en la relación sexual, llega a la vagina.

En condiciones normales, el pene está flácido; durante la excitación sexual tiene lugar un notable flujo sanguíneo hacia los cuerpos cavernosos del pene, el cual, de este modo, aumenta de tamaño y se hace más rígido hasta adoptar una posición erecta.

Organos genitales femeninos El papel del sexo femenino en la reproducción está constituido por la producción de los óvulos para la fecundación. Esta producción tiene lugar en los ovarios, dos órganos de dimensiones similares a las de una almendra, situados a la altura de las articulaciones sacro-ilíacas, unos 10 centímetros por debajo de la cintura. Al igual que los testículos, también los ovarios producen hormonas sexuales, que en la mujer son los estrógenos y la progesterona. En el momento en que el óvulo es liberado (fenómeno que tiene lugar una vez cada mes), desciende lentamente a la trompa de Falopio, donde puede ser fecundado.

El óvulo se desplaza hacia el útero y, si ha sido fecundado, comienza el desarrollo del embrión. Si el óvulo no ha sido fecundado, tiene lugar la menstruación. Durante el parto, el nuevo ser desciende a lo largo del cuello uterino, que se abre en la



Geodesia

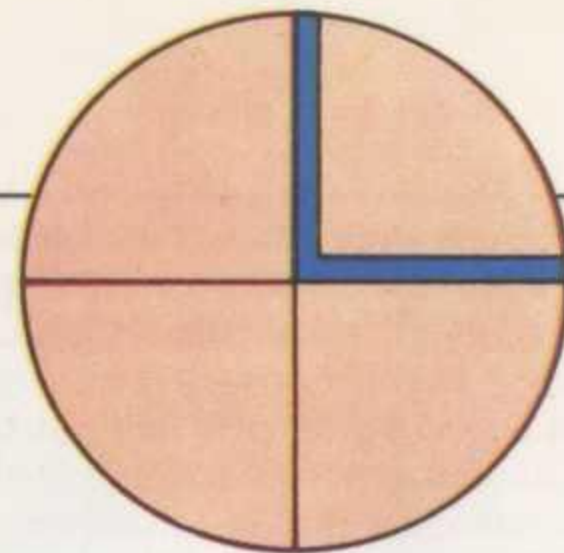
Hace tiempo se creía que la Tierra era plana, pero cuando se pudo concluir que era redonda, casi esférica, surgió el problema de dónde colocar la posición de las ciudades y de los continentes, tanto sobre la esfera como sobre los mapas que daban su representación.

En la época en que Cristóbal Colón, con el convencimiento de que la Tierra era redonda, partió en busca de las tierras de Oriente navegando hacia occidente, se creía que la forma de la Tierra era perfectamente esférica. Negando el preconcepto de que la Tierra es plana, se volvía a caer en otro, igualmente preconcepto, de que la redondez debía ser la del sólido redondo considerado perfecto, es decir, la de la esfera.

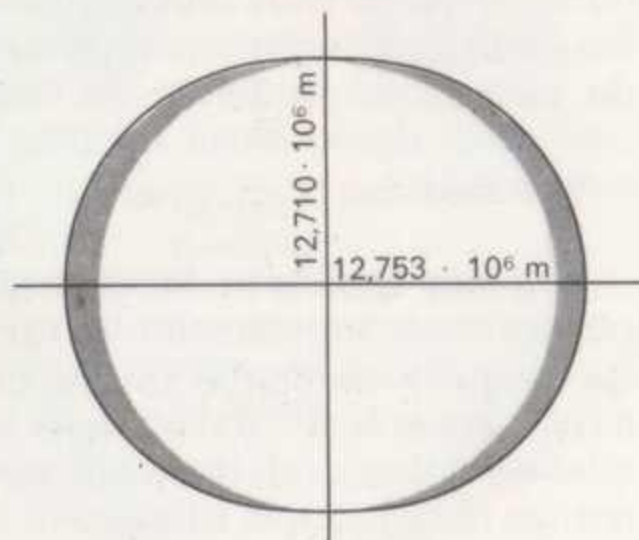
Cuando Newton formuló las leyes de la Mecánica según su riguroso sistema matemático, se dio cuenta de que la forma de la Tierra, por el mero hecho de rotar sobre sí misma con una velocidad no despreciable, no podía ser esférica sino que debía tener la forma de un elipsoide, es decir, con el ecuador hinchado y los polos aplastados. Newton calculó también, con un método sencillo e ingenioso, cuál debía ser la forma exacta del elipsoide terrestre. (cometiendo un pequeño error, que no merma en absoluto el mérito de su intuición).

La medida de la forma de la Tierra El hecho de que Newton hubiese valorado que la Tierra tiene forma de elipsoide estaba muy bien, pero había que controlar, con medidas, si la forma prevista era la real o si se apartaba de ella y en qué medida. Por otra parte, el hecho de que la forma de la Tierra fuese la de un elipsoide llevaba consigo dificultades también para la cartografía, es decir, para el arte de representar en mapas, sobre superficies planas, la forma curva del planeta. Si ya se presentan muchos problemas considerando la Tierra como una esfera, la forma de elipsoide complica mucho más las cosas. De este problema se ocuparon insignes matemáticos, entre los cuales se encontraba, a finales del siglo XVIII, Carlos Federico Gauss. En efecto: si ya de por sí es difícil extender la superficie de una esfera, muchísimas más dificultades tiene y harto más laborioso se presenta el extender la superficie de un elipsoide. Pensemos en lo que ocurre si dibujamos el perfil de un meridiano terrestre en forma de elipse muy aplastada. En el polo, la perpendicular a la elipse es el mismo eje norte-sur; si nos alejamos del polo con una perpendicular a la elipse, tenemos que caminar mucho alejándonos del polo antes de encontrar una perpendicular que esté inclinada un grado respecto al eje polar.

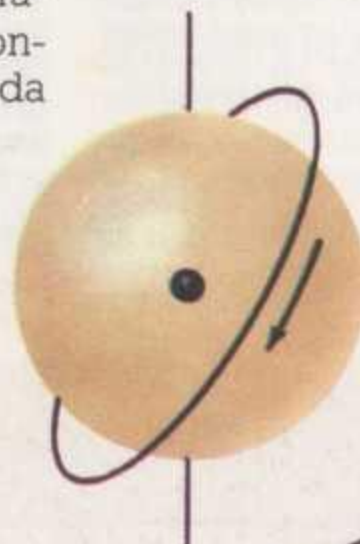
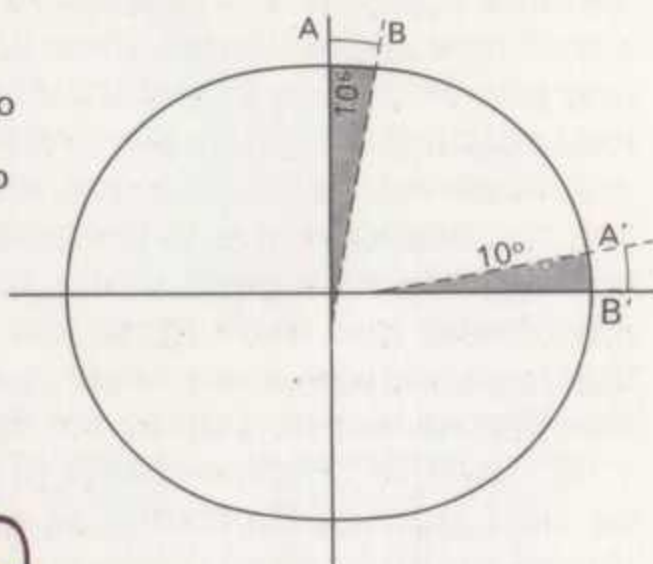
el agua en la zona polar sube menos que en la ecuatorial



diferencia entre radio polar y radio ecuatorial del elipsoide terrestre



un arco de meridiano en el polo es más largo que un arco de la misma amplitud en el ecuador

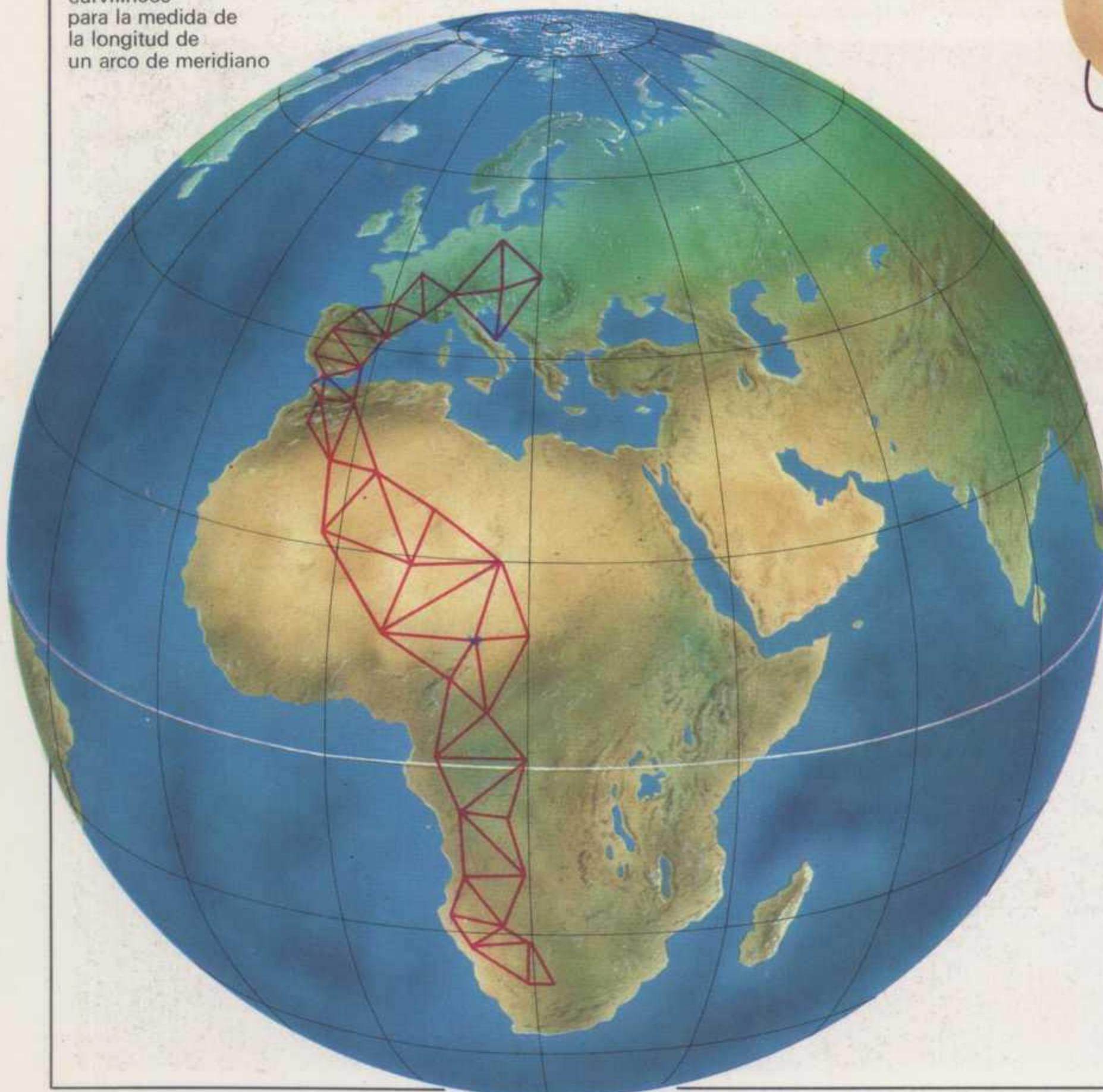


la órbita alrededor de un elipsoide cambia continuamente por la atracción del hinchamiento ecuatorial

Criterios de medida de la forma y de las dimensiones de nuestro planeta. Arriba, una sección ideal de pozos, uno perforado desde el polo y el otro desde el ecuador hacia el centro de la Tierra; el agua no se encuentra a la misma altura porque en el ecuador, centrifugada por la rotación de la Tierra, consigue subir más arriba. En la segunda figura, los datos del radio ecuatorial y del radio polar de la Tierra. En la figura que hay más abajo, el hecho de que la Tierra tenga la forma de un elipsoide hace que la longitud de un arco de meridiano de un grado sea distinta en el polo y en el ecuador. Por lo tanto, a partir de la

medida de la longitud se puede medir la forma de la sección elíptica terrestre y, en consecuencia, el aplastamiento polar. Otra manera de medirlo, más precisa, es con los satélites artificiales. En órbita alrededor de una esfera, el plano es constante; alrededor de un elipsoide se mueve con una deformación de la que se puede deducir el aplastamiento. A la izquierda, un ejemplo del trazado con el que, en el siglo pasado, se ha medido la longitud del arco de meridiano. En la página siguiente, satélite geodésico localizado desde la Tierra por medio de láser y cámaras fotográficas.

red de rectángulos curvilíneos para la medida de la longitud de un arco de meridiano



En cambio, si partimos del ecuador, basta con caminar un poco para que la normal al suelo forme un ángulo de un grado con el plano del ecuador. Aunque este hecho proporciona grandes dificultades para trazar mapas correctos, sugiere una manera de proceder para determinar la forma de la Tierra. En efecto, basta con medir la longitud de un arco de un grado de meridiano en las diversas latitudes.

Las medidas tradicionales La medida de un arco de meridiano se efectúa mediante métodos de tipo topográfico, es decir, con la *triangulación* a partir de bases de longitud conocida; hoy en día, se prefiere determinar con el láser o con microondas la longitud de los lados de los triángulos de la red, en vez de determinar las amplitudes de sus ángulos, como se hacía antes por medio de teodolitos de precisión. No existe una distinción conceptual entre las medidas geodésicas y las topográficas, pero las primeras se desarrollan sobre distancias mucho más amplias y hay que tener en cuenta las múltiples posibilidades de error y el hecho de que la Tierra no es esférica, por lo que hay que efectuar estas medidas con mucha precisión. Las medidas se repitieron muchas veces, tanto en el siglo XIX como en el siglo XX.

Con estas medidas, se llegó a la conclusión de que la Tierra estaba aplastada en los polos, en una cantidad que las medidas sucesivas demostraron equivocada en varias décimas partes por millón. La medida se afinó con los satélites artificiales. Pero, mientras tanto, se había establecido otra verdad importante: la Tierra no tiene una forma regular; se desvía del elipsoide en una pequeña cantidad, suficiente para que su forma exacta no se asemeje a la de ningún sólido regular, y por tanto, haya que recurrir a un nombre específico —*geoide*, es decir, "en forma de Tierra" —al denominar el sólido que la representa, cuya forma se asemeja en cierta manera a la de una pera.

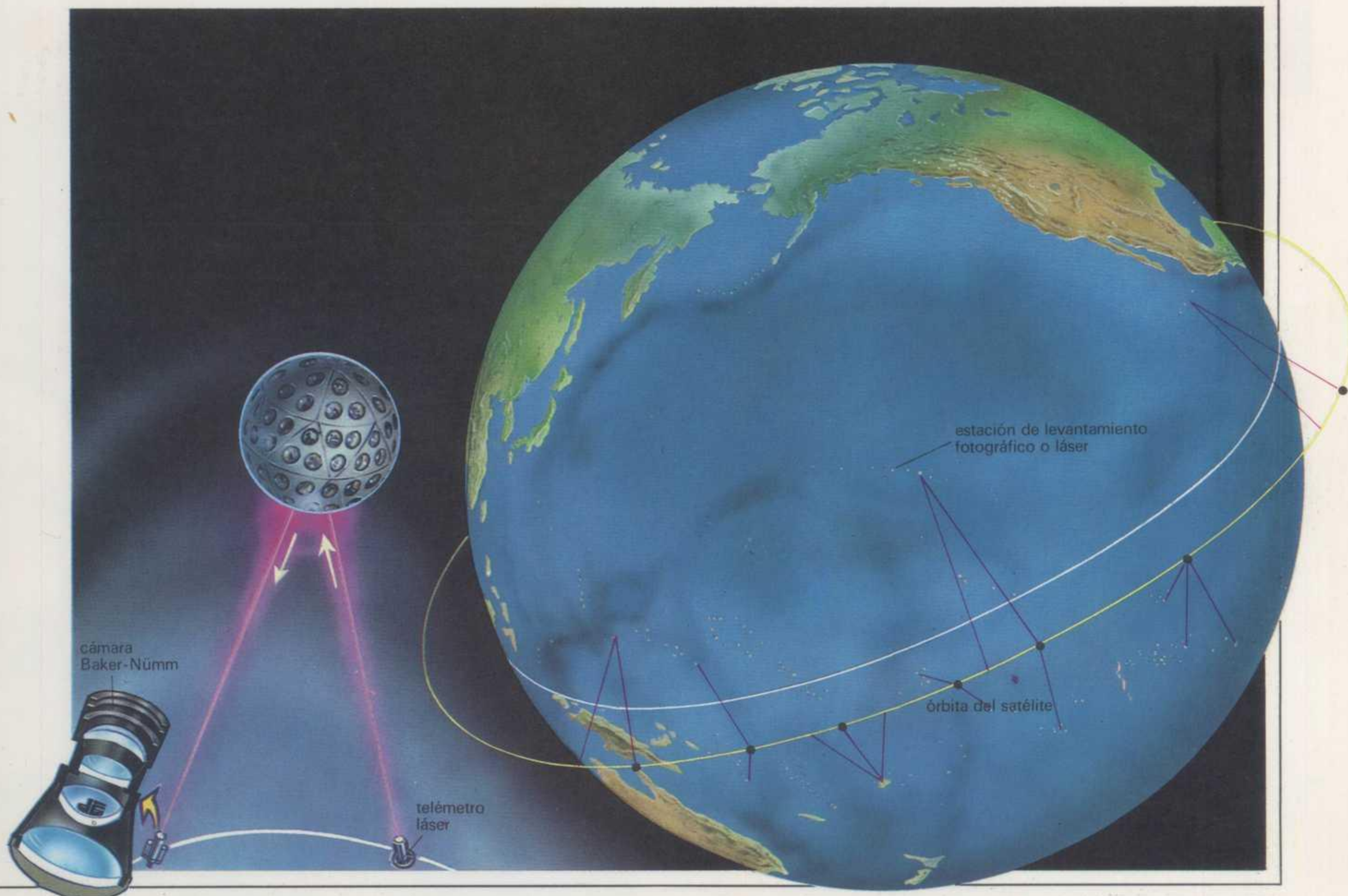
Modernas mediciones del geoide Con la llegada de la "era de la astronáutica", los satélites artificiales ofrecieron una sofisticada técnica de medida. Un mismo satélite es observado desde dos localidades entre las que pasa su trayectoria. Se puede fotografiar, con las estrellas de fondo, en instantes bien cronometrados; en este caso se localiza el satélite respecto a estos lugares. Pero se puede también decir que se localizan los lugares respecto al satélite, que a su vez había sido localizado por otras estaciones de medida distribuidas en los continentes.

Además, la trayectoria del satélite sube y baja según la atracción proporcionada por la masa de la Tierra colocada debajo de su superficie y esto ayuda a determinar la forma del geoide.

Hoy en día, los satélites para uso geodésico pueden funcionar como reflectores de rayos láser emitidos desde la Tierra, hecho que aumenta mucho la precisión de las medidas. La utilización de estos satélites ha permitido también efectuar una medida que los geofísicos estaban intentando desde hace tiempo: la de la deriva de los continentes. Es un hecho cierto que los continentes se han movido en el pasado y es igualmente cierto que aún hoy están en movimiento; pero el poder medir, por ejemplo, que la posición de Europa y América varía casi un decímetro al año es otra certeza bien diferente. Esta medida ya ha sido efectuada y otras se están intentando para mostrar la lenta deformación de los continentes.

Aunque haya sido intuitiva desde hace tres siglos, la forma de la Tierra no se ha podido determinar con precisión hasta hace poco más de cien años; desde hace más de veinte se han obtenido valores muy precisos y se tiene un mapa del geoide válido también para los océanos.

Véase **Deriva continental; Geoide; Topografía**



Geofísica

La Geofísica es una ciencia de muy reciente desarrollo; sus más importantes progresos se han realizado en las últimas décadas, especialmente después de la II Guerra Mundial. En su acepción inicial, esta disciplina se ocupaba del estudio de la Tierra, considerada como un cuerpo sólido. Pero hoy en día los geofísicos se dedican también a la Oceanografía, a las investigaciones sobre la atmósfera, a la Hidrología, Vulcanología y Geoquímica, así como a los estudios relativos a los sólidos, como la Sismología (estudio de los terremotos), la gravimetría (medida de las variaciones de la fuerza de gravedad), la electricidad terrestre, el geomagnetismo (estudio de la intensidad del campo magnético terrestre en los distintos lugares) y el paleomagnetismo (indicaciones, en los minerales, de antiguos campos magnéticos de intensidad y de dirección diferentes a los actuales). Las disciplinas que se incluyen en la Geofísica tienen muchas aplicaciones prácticas; entre ellas podemos enumerar las previsio-

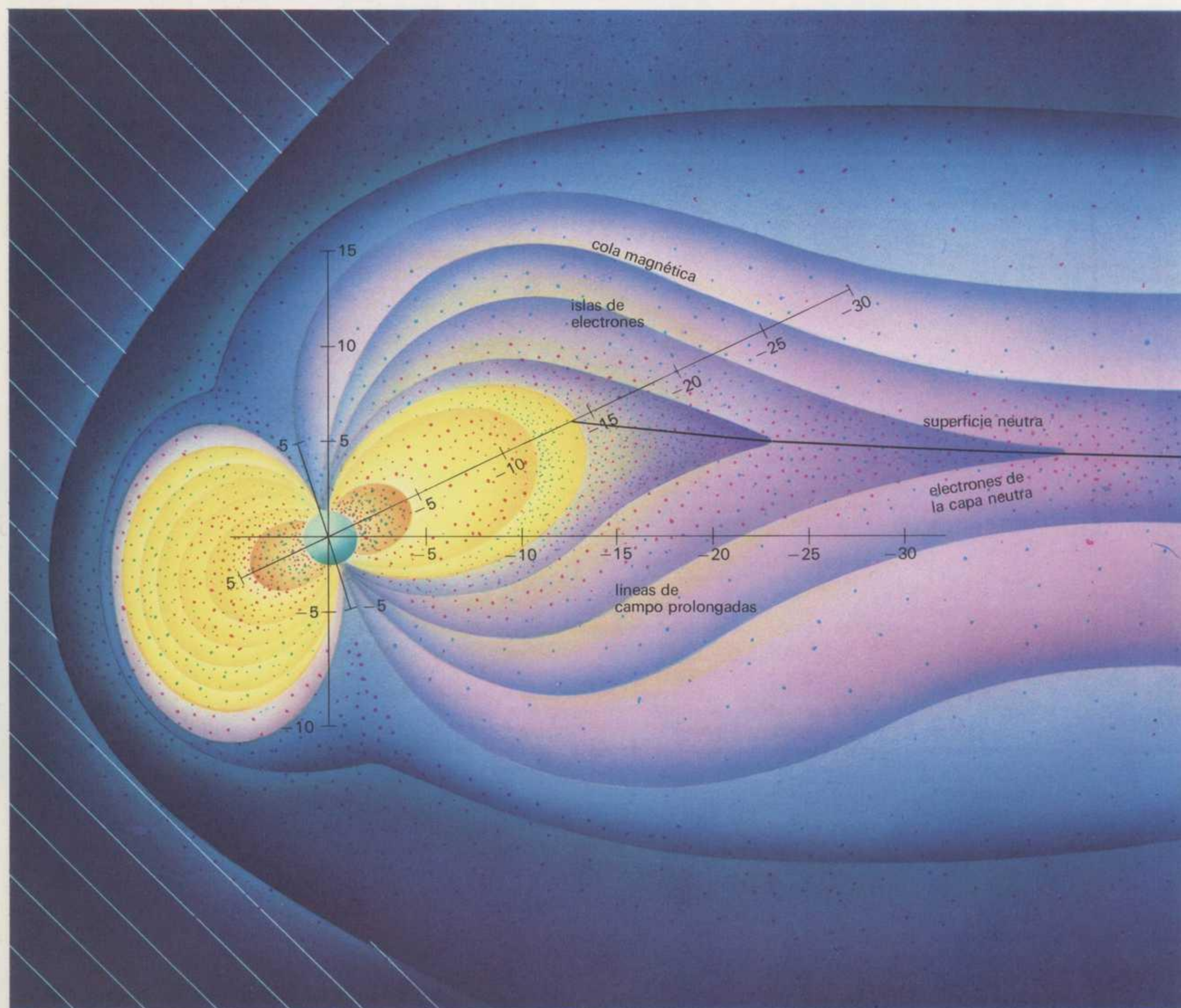
nes de los terremotos y la prospección de yacimientos petrolíferos y otros recursos naturales.

Instrumentación La Geofísica es una ciencia eminentemente experimental y utiliza gran número de técnicas.

El estudio de los terremotos llevó a los sismólogos a pensar que era necesario disponer de un método para identificar su punto de origen y para medir la intensidad de las sacudidas, y así inventaron y perfeccionaron los *sismógrafos*. Los oceanógrafos necesitaban urgentemente un instrumento práctico para medir la profundidad del océano en distintos puntos y para descubrir la forma de los fondos oceánicos, y así adaptaron a este fin un instrumento usado, con distinta función, durante la II Guerra Mundial: el *sonar*. Este aparato enviaba en el agua unas señales para localizar submarinos enemigos a través del eco que éstos devolvían al foco emisor. Los oceanógrafos, en lugar de enviar estas señales en todas direcciones, las

envían sólo hacia abajo. Conociendo la velocidad con la que se propaga el sonido en el agua, es posible medir el tiempo empleado por la señal para llegar hasta el fondo del mar y volver; dividiendo por dos este tiempo y multiplicado por la velocidad del sonido en el agua, se halla la profundidad.

El primer y gran resultado de la Geofísica se produjo en los años inmediatamente anteriores a la I Guerra Mundial, cuando un noble húngaro, el barón Roland Eötvös, aplicó la balanza de torsión —instrumento anteriormente usado para medir la fuerza de atracción gravitacional que se ejerce sobre dos masas— para localizar en la gran llanura húngara los estratos de rocas más densas y más ligeras con el fin de identificar los puntos más idóneos donde efectuar perforaciones en la búsqueda de agua para paliar los efectos de una gran sequía. Las diferencias entre los valores de la gravedad estaban en condiciones de permitir la localización de los pliegues de las capas rocosas, llamados



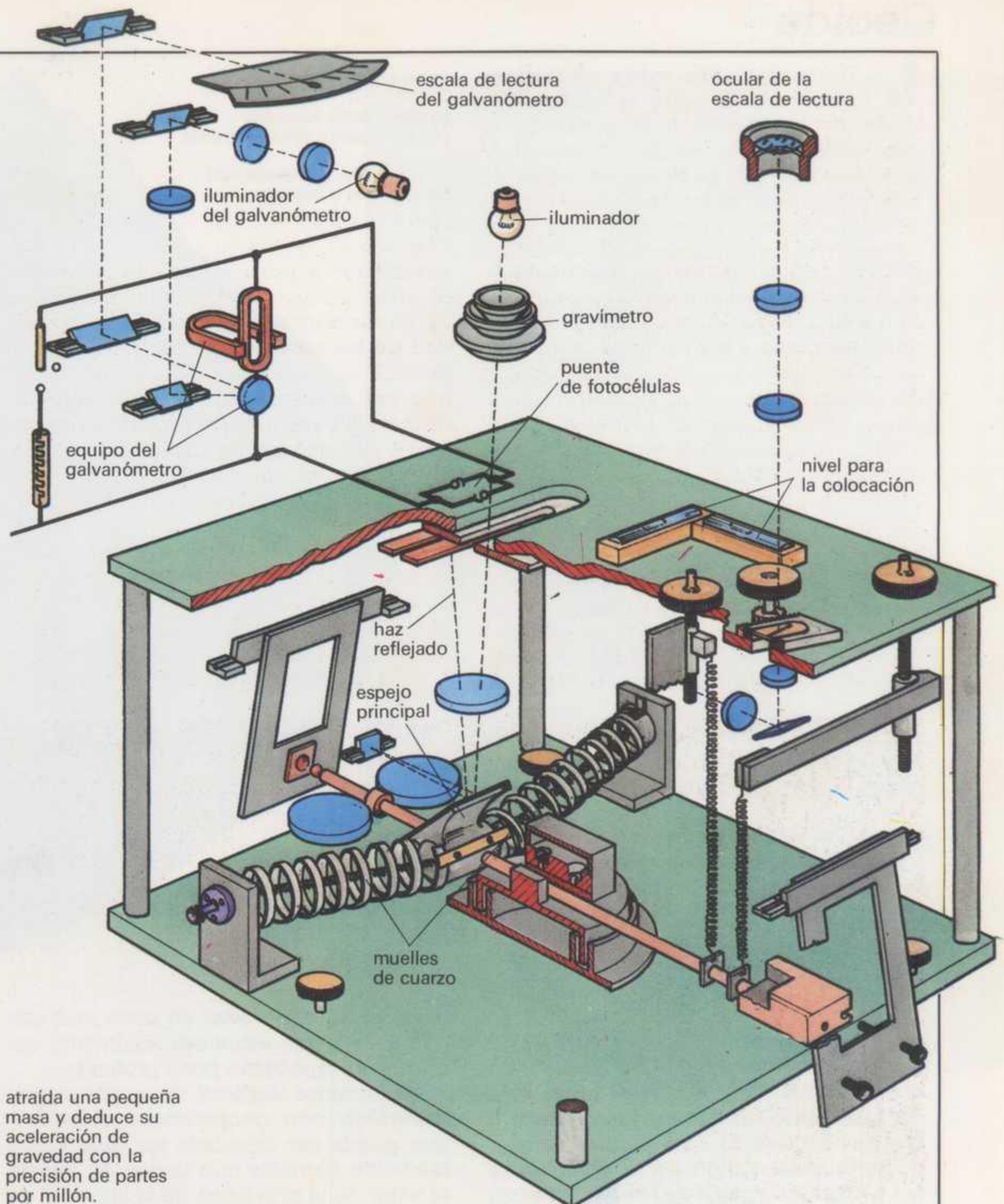
sinclinales y anticlinales. Es sabido que el agua se acumula en los sinclinales (pliegues tipo cuenca), por lo que se efectuaron perforaciones en dichos pliegues.

Medio siglo más tarde comenzó la búsqueda de petróleo. Puesto que el petróleo es más ligero que el agua, asciende a través de zonas porosas, en un tipo muy particular de anticlinales (pliegues en forma de cúpula).

En Estados Unidos, a lo largo de las costas del Golfo de Méjico, en Louisiana y en Texas, debajo o alrededor de cúpulas de sal se encuentra concentrada una enorme cantidad de petróleo y de gas natural. Estas cúpulas tienen el aspecto de grandes cilindros de sal mineral con la extremidad superior abovedada. El origen de la sal se puede atribuir a la evaporación de agua de mar que se ha quedado en lagunas aisladas; el depósito salino ha sido más tarde enterrado como consecuencia de una continua sedimentación que ha tenido lugar en la cuenca. Pero la sal tiene una densidad menor que el sedimento y bajo la

En la página anterior se ve un mapa de la magnetosfera terrestre y su interacción con el viento solar. Alrededor de la pequeña esfera que representa la Tierra se observa, en sus inmediatas cercanías, el campo magnético terrestre, tal y como lo conocen aquéllos que utilizan las brújulas magnéticas para la navegación. Pero, a mayor distancia, el campo no se extiende como una prolongación natural del próximo a la Tierra, puesto que desde la izquierda sopla el viento solar, formado por partículas

cargadas que, con su movimiento, generan campos magnéticos que perturban el campo terrestre. El estudio de la magnetosfera terrestre forma parte de la Geofísica teórica. En cambio, el estudio de las anomalías locales del campo gravitacional reviste también un interés práctico, puesto que ayuda al descubrimiento de yacimientos minerales. El gravímetro (a la derecha) es un dinamómetro de precisión, con muelles de cuarzo, que mide la fuerza con la que es



atraída una pequeña masa y deduce su aceleración de gravedad con la precisión de partes por millón.

presión de éste tiende a ascender hacia la superficie. Esta cúpula constituye una estructura favorable para la migración de gas natural y de petróleo a través de estratos de material poroso. La localización de estas estructuras de baja densidad puede hacerse mediante gravímetros.

Otro método para localizar estas cúpulas de sal, como también otras estructuras estratificadas, se basa en la exploración con ondas sísmicas: los científicos han adoptado una instrumentación derivada de la que se utiliza para estudiar los terremotos, pero de manera que ellos mismos producen las sacudidas sísmicas. A este fin se hace un agujero en el terreno y se le adapta una pequeña carga de dinamita que, cuando explota, produce un terremoto artificial en miniatura. Las ondas sísmicas así obtenidas chocan con capas de distinta densidad en el interior de la corteza terrestre, y las vibraciones correspondientes se registran en el sismógrafo sobre una tira de papel a través de una serie de puntos. Del conocimiento de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en los distintos tipos de rocas, ob-

servando las ondas reflejadas por cada capa y dividiendo por dos el tiempo de vuelta de la onda, se puede hallar la profundidad a la que se encuentran las distintas capas. Por refracción de las ondas sísmicas en su paso a través de estratos de distinta densidad, se pueden efectuar también medidas laterales.

El método sísmico se puede aplicar también a la investigación sobre las plataformas continentales, en la que se utilizan naves desde donde se provocan explosiones en las capas superficiales del agua. Instrumentos análogos a los que se utilizan en tierra captan las ondas sísmicas que, desde la superficie, han penetrado hacia el fondo, a partir del cual se reflejan y refractan volviendo a la superficie.

Hoy se procede también al estudio de las capas internas de nuestro planeta a partir de perforaciones hechas *ex profeso*. Para ello ha sido necesario poner a punto una tecnología muy avanzada, capaz de resistir las enormes presiones y temperaturas a que se ven sometidos los instrumentos en el interior de la Tierra.

Véase **Geología; Geoquímica; Magnetismo; Sonar**



Teoría del "dinamo" del origen del campo magnético terrestre. Se supone que el interior de la Tierra está constituido por un material magnético y conductor de la electricidad. Además, las fuentes térmicas

mantienen caliente el planeta y hacen girar su parte fluida. Un campo excitador inicial (p. e. del Sol) y el movimiento de las corrientes de magma provocan la formación del campo magnético del planeta.

Geoide

La Tierra no es una esfera perfecta: en teoría debería tener la forma de un esferoide, es decir, su radio ecuatorial, en este caso, debería ser 26 km más largo que el radio polar. La fuerza de gravedad, que ejerce una atracción uniforme hacia el centro, debería tender a dar a la Tierra la forma de una esfera perfecta. Pero puesto que la Tierra gira, su interior —parcialmente fluido— origina una fuerza centrífuga tal que ejerce un empuje tendente a alejarla de su eje. Este fenómeno produce el característico achatamiento polar de la Tierra y su igualmente característico alargamiento ecuatorial.

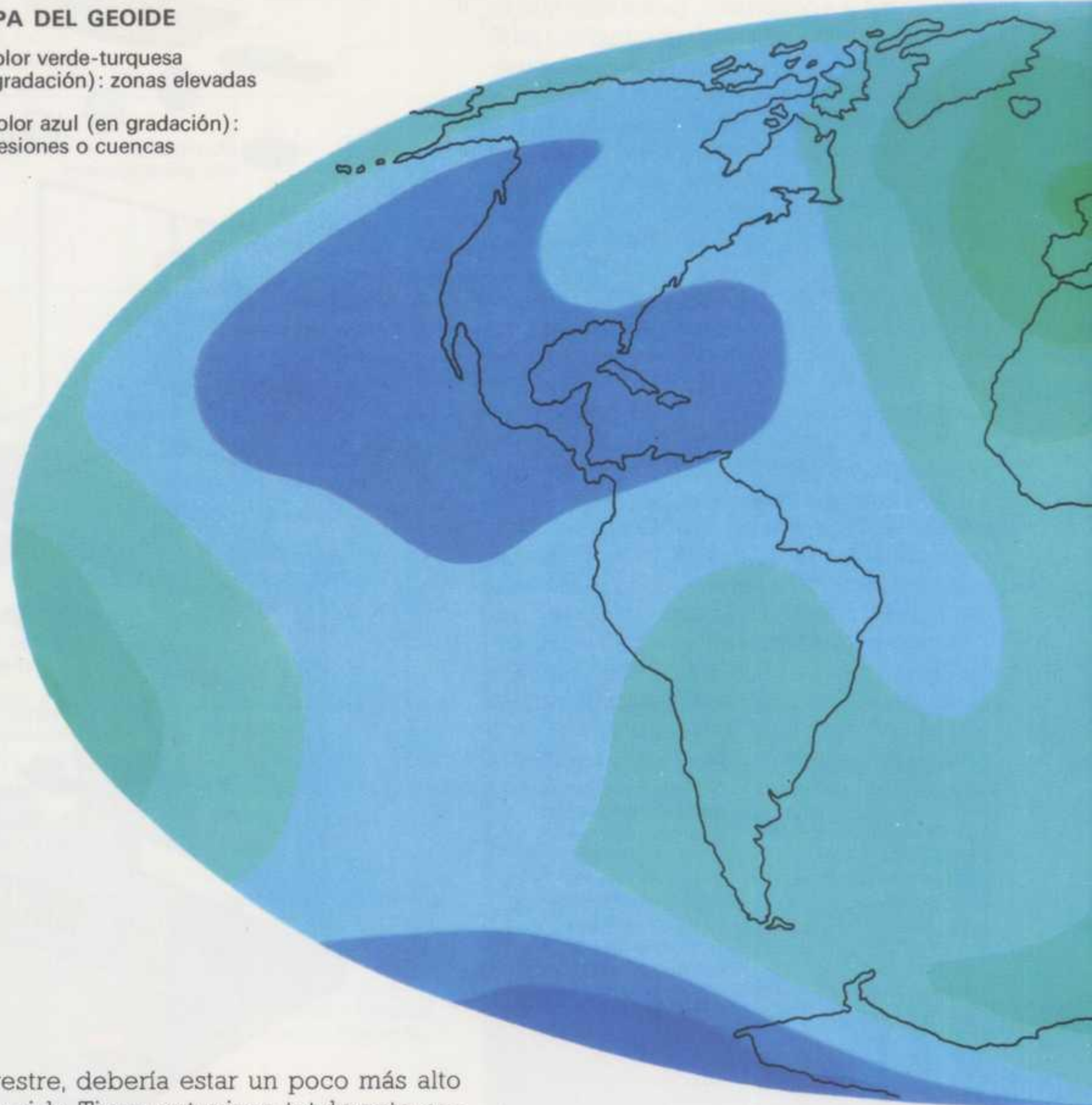
Si la Tierra estuviese cubierta por todas partes por un océano poco profundo y no tuviese ni montañas ni continentes, el nivel del agua tomaría la forma del esferoide del que hemos hablado antes, cuya superficie ideal de referencia se llama *geoide*. Pero la forma real de la Tierra es más complicada, puesto que hay montañas y masas terrestres distribuidas irregularmente por todo el Globo, de las que dos tercios se encuentran en el hemisferio norte. De todo esto resulta que la forma real de la Tierra no es tan simétrica como la de un esferoide ideal.

Una Tierra en forma de pera Uno de los inesperados resultados de la "era de los satélites artificiales" se obtuvo durante el Año Geofísico Internacional (1957-59). Uno de los satélites *Vanguard* lanzado en aquella ocasión para medir la gravedad terrestre mostró que la Tierra, más que la forma de un esferoide perfecto, tenía la forma de una pera. El radio polar del hemisferio norte resultó 10 metros mayor del que se había calculado, y el radio polar del hemisferio sur, 3 metros más pequeño que el valor teórico. Para imaginar el geoide tendríamos que pensar en cortar un canal a nivel del agua a través de cada continente. El nivel del océano en estos canales, por la atracción de las masas lunar y

MAPA DEL GEOIDE

en color verde-turquesa (en gradación): zonas elevadas

en color azul (en gradación): depresiones o cuencas

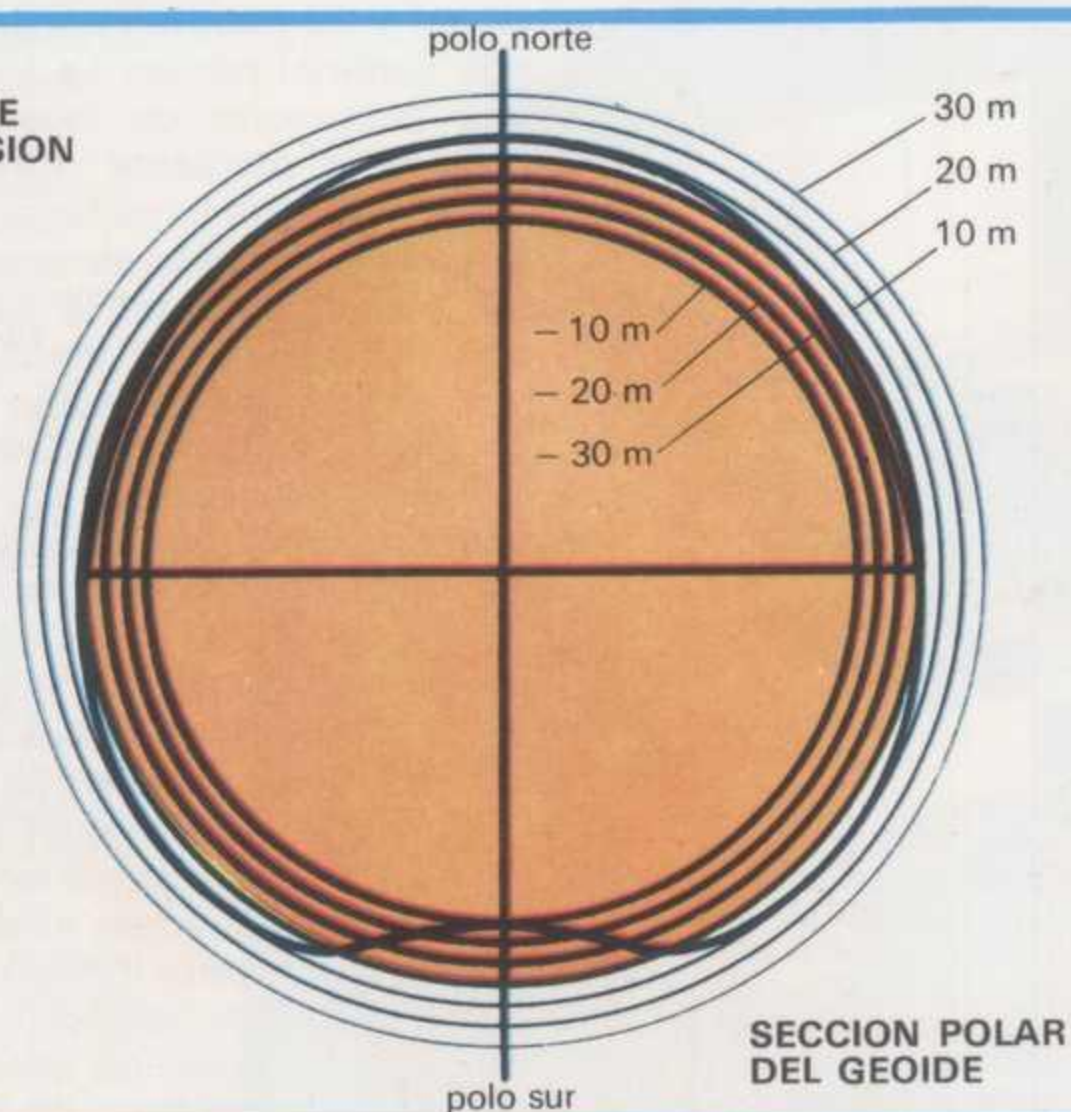
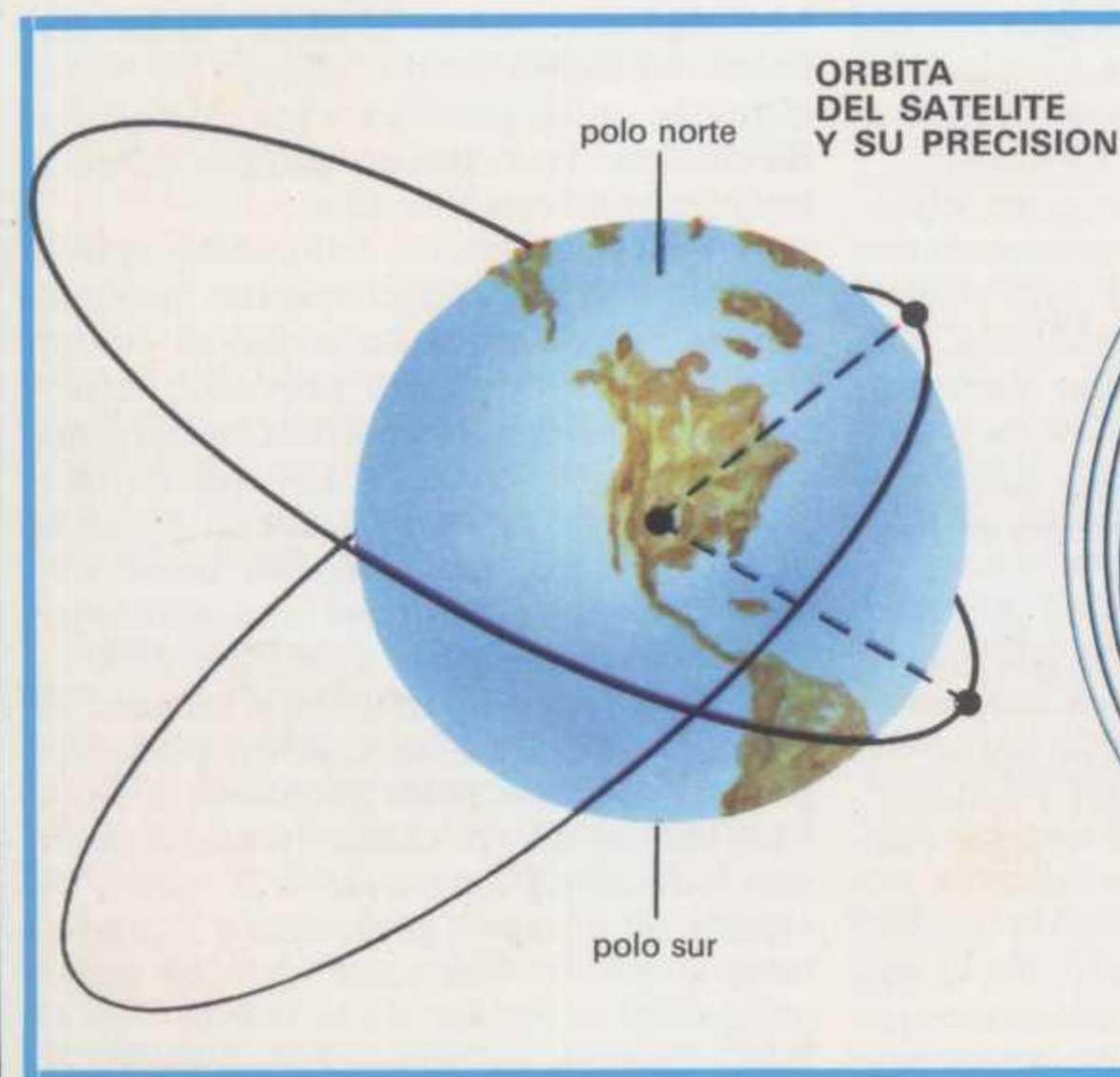


terrestre, debería estar un poco más alto que si la Tierra estuviese totalmente cubierta por un océano poco profundo.

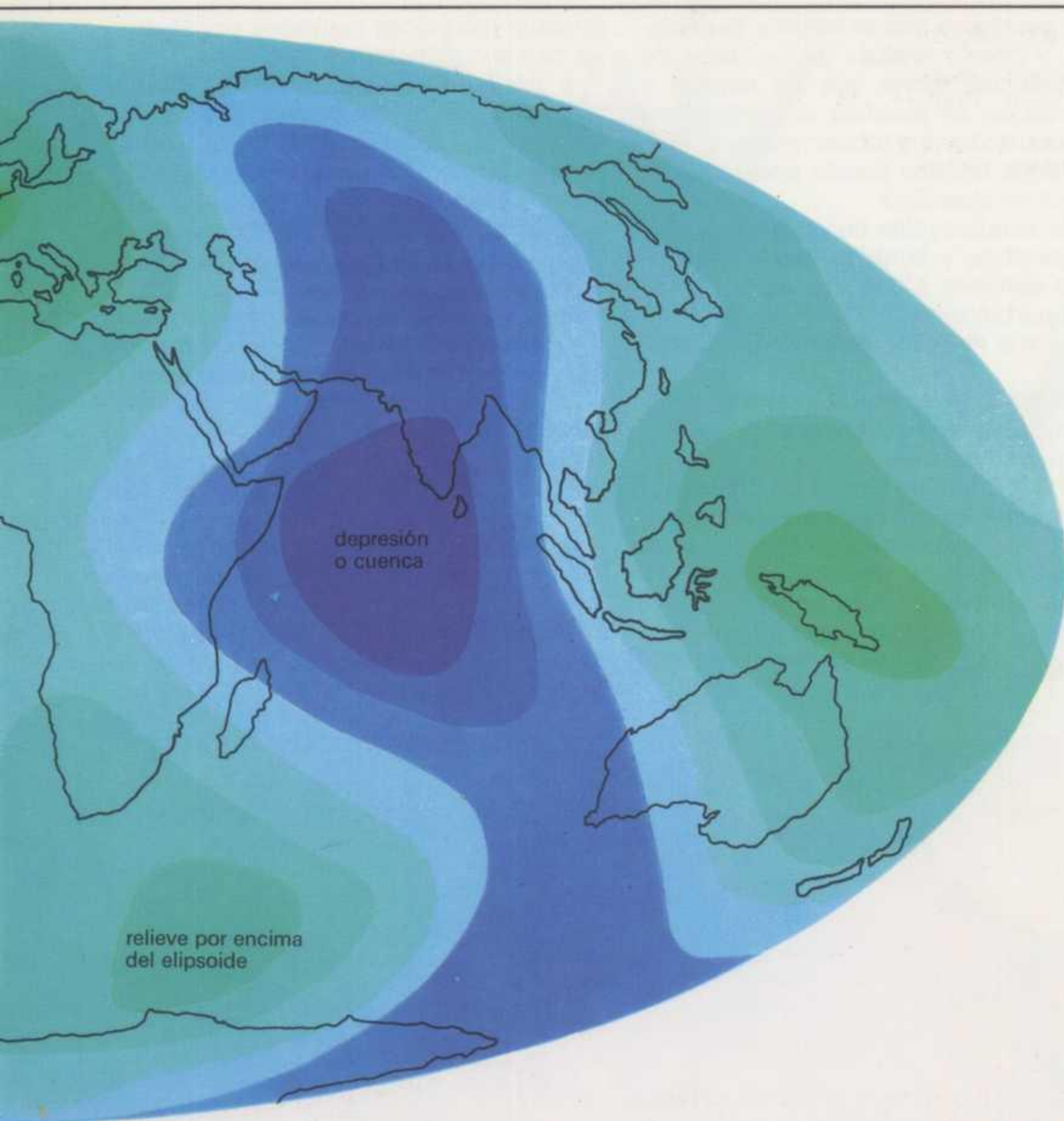
En términos técnicos, el geoide es una superficie con geopotencial constante, que puede ser calculado en cada punto mediante fórmulas que tienen en cuenta el valor de la gravedad, de la latitud y de la velocidad angular de rotación de la Tierra.

Arriba, sobre estas líneas, puede verse el mapa del geoide tal y como ha sido levantado desde los satélites que, circulando alrededor de la Tierra, han mostrado, con las anomalías de sus

órbitas, la presencia de relieves y valles de la forma terrestre, por encima y por debajo del esferoide, que representa a la Tierra. El geoide muestra la forma que tendría la superficie de los mares si fuesen tranquilos



A la izquierda, en la primera figura, la Tierra con el trazado de un satélite que gira a su alrededor. Si en lugar de la Tierra hubiese una masa puntiforme o una esfera perfectamente homogénea, la órbita del satélite mantendría su posición eternamente. En cambio, la forma de elipsoide de la Tierra hace variar la posición del plano de la órbita (se nota al observar el satélite desde la Tierra). Al lado, resultado de las medidas con los satélites: el círculo central de la corona es el perfil del elipsoide rectificado; la curva deformada es el perfil del geoide en sección polar.



Nivel medio del mar El estudio del nivel del océano se complica con el movimiento diario producido por las mareas a causa de la rotación terrestre. Es posible medir el nivel medio a lo largo de las costas o cerca de una isla utilizando un flotador que registra el nivel de la marea continuamente durante todo el día. Haciendo una media sobre un período de 19 años, se obtiene con gran aproximación el nivel medio del mar. La razón de que se elija tal período es que la distancia de la Luna a la Tierra varía ligeramente a lo largo de un espacio de tiempo bien determinado, llamado *ciclo lunar nodal*, de 18,6 años (existe otra variación de esta distancia en un período de miles de años, pero es mucho menos importante). Durante siglos, los astrónomos no alcanzaron a entender este proceso, por el cual la Luna parece unas veces más pequeña y otras más grande. Naturalmente, esta distancia produce algunos efectos sobre el nivel del mar, efectos que incluso pueden provocar diferencias de 10 centímetros.

El nivel medio del mar se toma como nivel cero para nuestros mapas topográficos, pero, curiosamente, el nivel del mar difiere bastante —en algunos lugares en más de 30 metros— del geoide calculado. Hay múltiples razones: como que la densidad del agua del océano no es constante; allí donde hay muchos ríos de agua dulce (por ejemplo, en el mar Báltico) el nivel medio del mar es más alto que en las regiones en las que hay una gran evaporización. En este último caso la intensa irradiación solar y la escasez de ríos hacen que el océano sea más denso y el nivel de las aguas más bajo. Las variaciones de densidad de las rocas terrestres producen también efectos sobre la gravedad, otra razón por la cual el geoide y el nivel del mar no siempre coinciden.

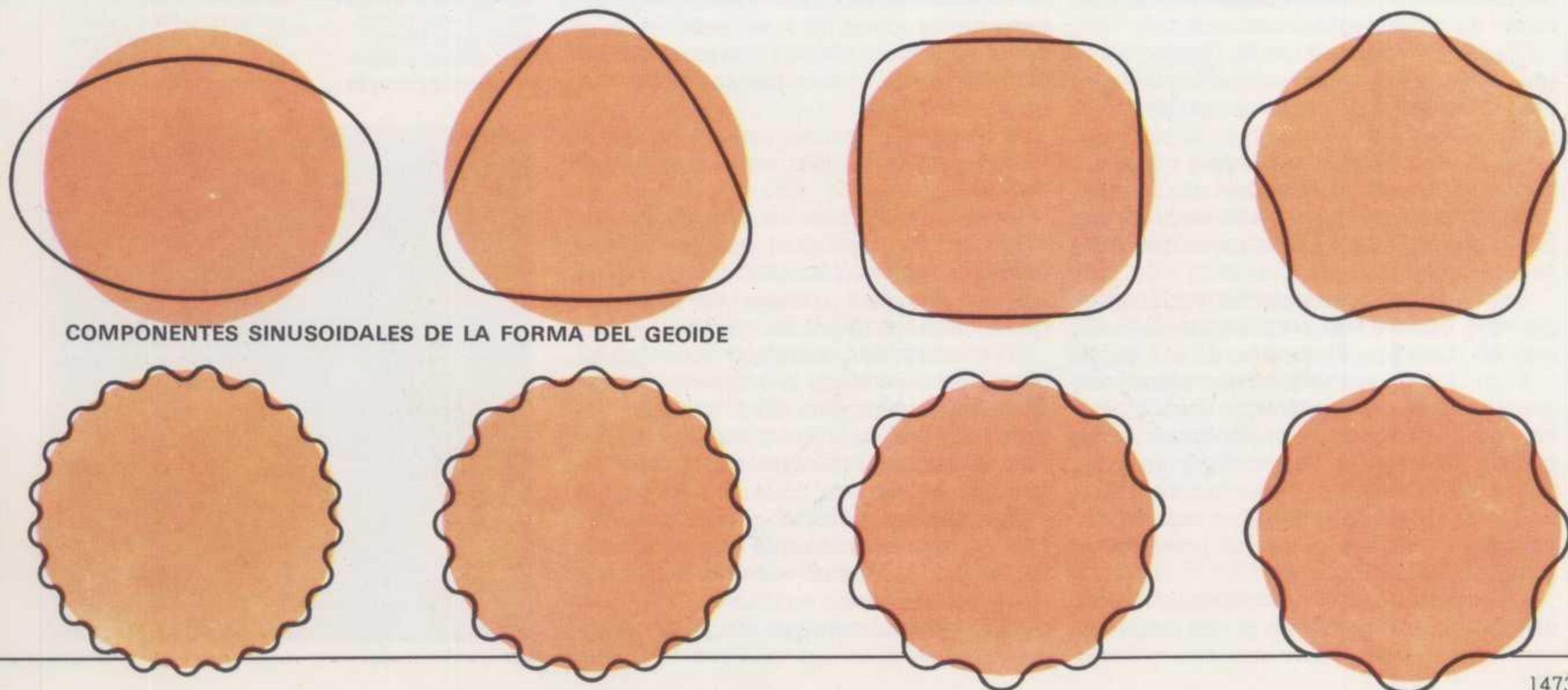
y si se pudiesen reequilibrar por medio de una red de pozos distribuidos un poco por toda la Tierra, perforados en los continentes y todos ellos comunicados entre sí de forma constante.

Las figuras de abajo pueden darnos una idea secuencial de cómo se determina la forma del geoide calculándola a partir de las medidas efectuadas por los satélites. Se describe la forma del perfil

terrestre sobrevolado como si fuese: en una primera aproximación, una elipse con dos lóbulos; en una segunda aproximación, una sinusoide con tres lóbulos, después con cuatro, cinco, etc. La verdadera forma la da

la suma de todos los perfiles con muchos lóbulos. Cada uno de éstos se toma con una amplitud oportuna, de modo que la suma proporcione una forma, densa, compleja, por medio de sumandos sencillos.

Véase **Geodesia**



Geología

La Geología (del griego "geo", tierra, y "logos", tratado) es la ciencia que tiene por objeto el estudio de la composición, estructura y evolución de la Tierra. En su acepción más amplia, abarca el estudio de la litosfera, de los océanos y de la atmósfera, aunque probablemente por tradición la Geología ha centrado su interés principalmente en la litosfera, tratando de explicar la historia de su evolución, sus características y el conjunto de fenómenos que en ella tienen lugar. La Geología se subdivide en diversas ramas particulares, en función de la diversidad de objetivos: el estudio de las sustancias que constituyen la Tierra es cubierto por la *Cristalografía*, la *Mineralogía* y la *Petrografía*; de los procesos que se producen en el seno de la Tierra se ocupa la *Geodinámica*, que puede dividirse en Geodinámica interna (*Tectónica*, *Sismología*, *Vulcanología*) y Geodinámica externa (*Geomorfología*, *Hidrología*, *Glaciología*, etc.); la ob-

servación de la evolución terrestre a lo largo del tiempo es el campo de la *Geología histórica* y de la *Paleogeología*. Finalmente, las aplicaciones prácticas de los recursos del subsuelo constituyen el dominio de la *Geología económica*.

Cada especialidad de la Geología sigue un esquema de investigación basado en tres importantes categorías de interrogantes:

Métodos de observación

Los elementos materiales más accesibles para el estudio geológico son los minerales, las rocas y los fósiles. Las formas incluyen, por un lado, los tipos del relieve superficial y, por otro, las estructuras tridimensionales que constituyen la corteza del planeta.

• **Minerales.** Son los componentes de las rocas. El granito, por ejemplo, es una roca típica, formada en parte por cuarzo,

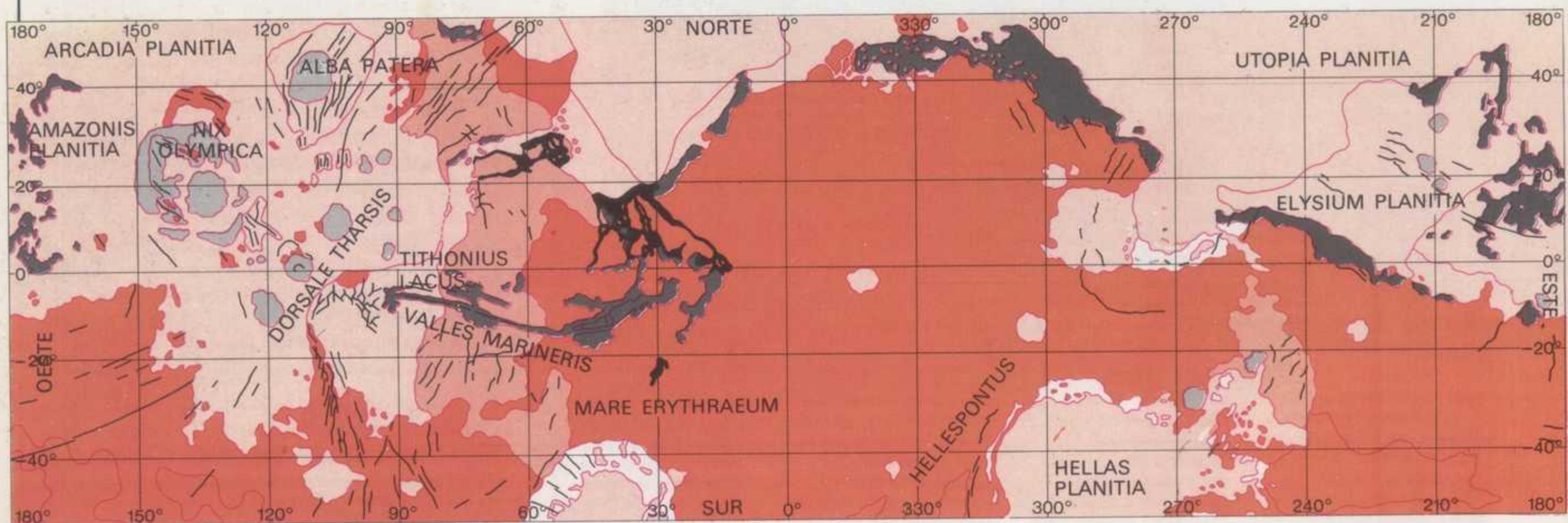
objetos geológicos que se estudia. Seguidamente, y previo análisis de los datos, se desarrolla una teoría que los explica y cuya validez se constata al confrontarla con nuevos datos y observaciones. Sólo así la teoría termina siendo aceptada por el colectivo científico.

Cada subdisciplina tiene su metodología específica, y también emplea instrumentos distintos. Cada una de las áreas más importantes de la Geología ha desarrollado sus métodos propios de trabajo.

• **Fósiles.** Con la muerte de los organismos vivos, vegetales y animales, sus residuos, formados por hojas, troncos de árboles, conchas, huesos, etc., son a menudo enterrados junto con rocas sedimentarias en vías de formación en los ríos, lagos y mares, de manera que petrifican con la roca.

• **Formas terrestres.** Las características superficiales, o paisaje, de la corteza terrestre son el producto de la interacción dinámica entre los materiales antes mencionados y las fuerzas que actúan sobre la superficie de la Tierra (atmósfera, ríos, mares, manantiales, glaciares y actividad biológica y gravitacional).

• **Formas estructurales.** Son las características tridimensionales de las rocas, que a menudo se pueden identificar con técnicas de varios tipos, hasta profundidades de varios kilómetros en el interior de



cuyos cristales vítreos reflejan la luz pudiéndose ver a simple vista. Existen casi tres mil tipos distintos de minerales, muchos de los cuales tienen un notable valor económico, tanto por sus aplicaciones industriales como por su posible valor como gemas u objetos decorativos. No obstante, los minerales más corrientes son sólo diez o doce.

• **Rocas.** La corteza terrestre está constituida principalmente por tres tipos de rocas:

1) *rocas sedimentarias*, que se han formado por precipitación química o bien mediante deposición, grano a grano, de las suspensiones acuosas de partículas que forman los ríos y los mares;

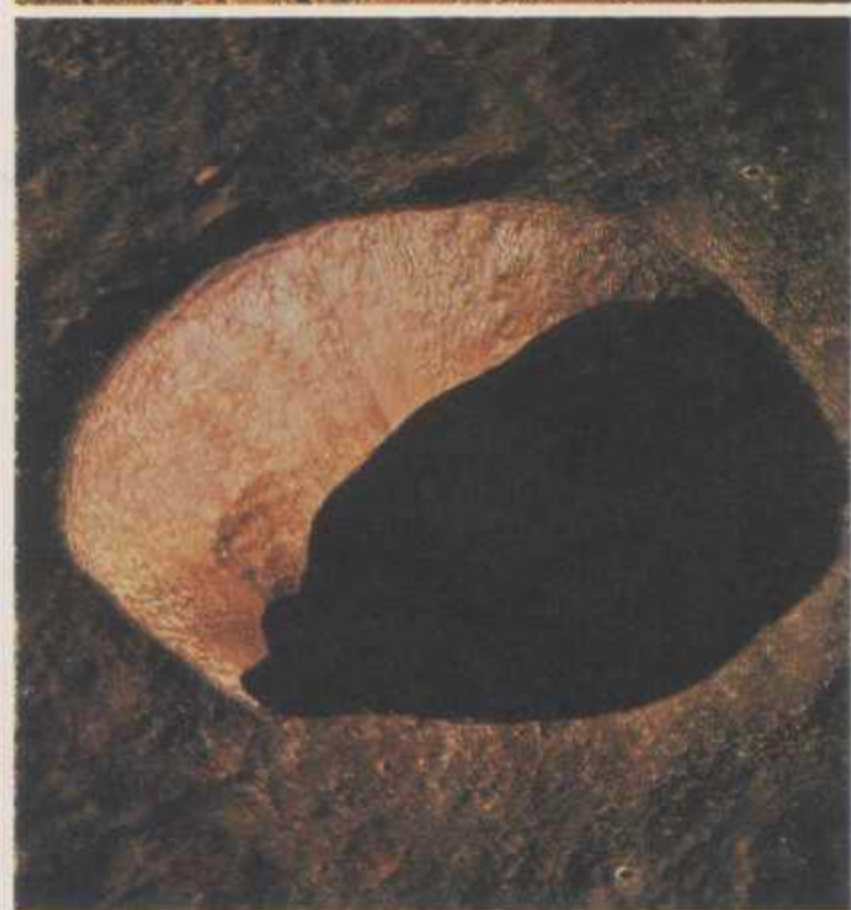
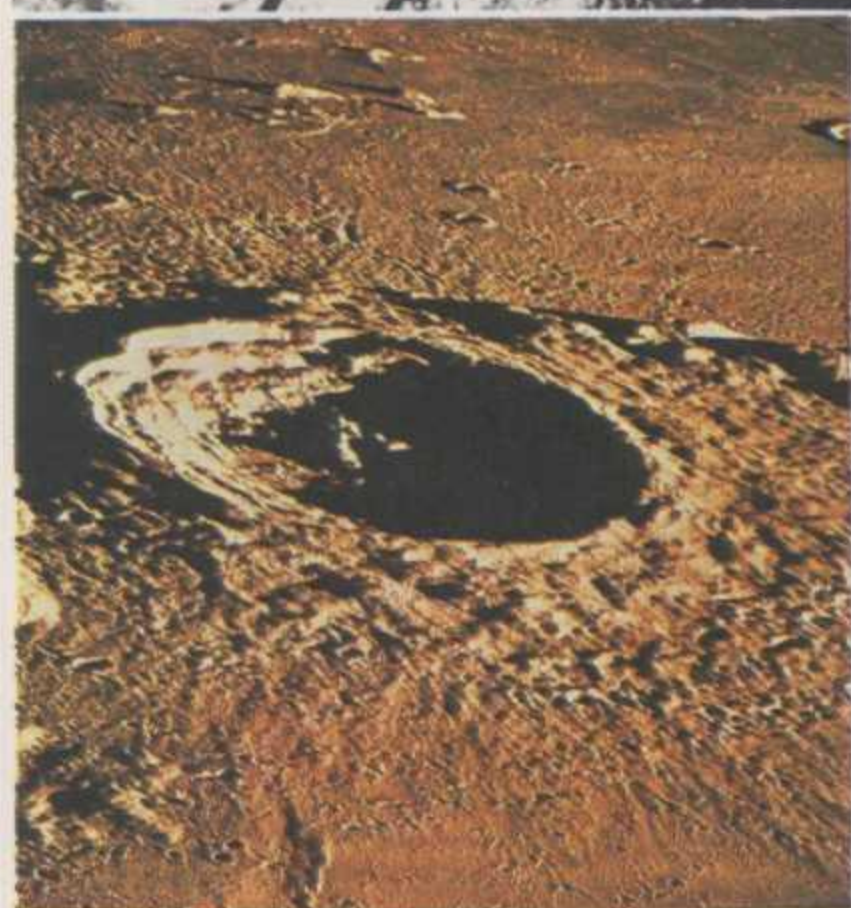
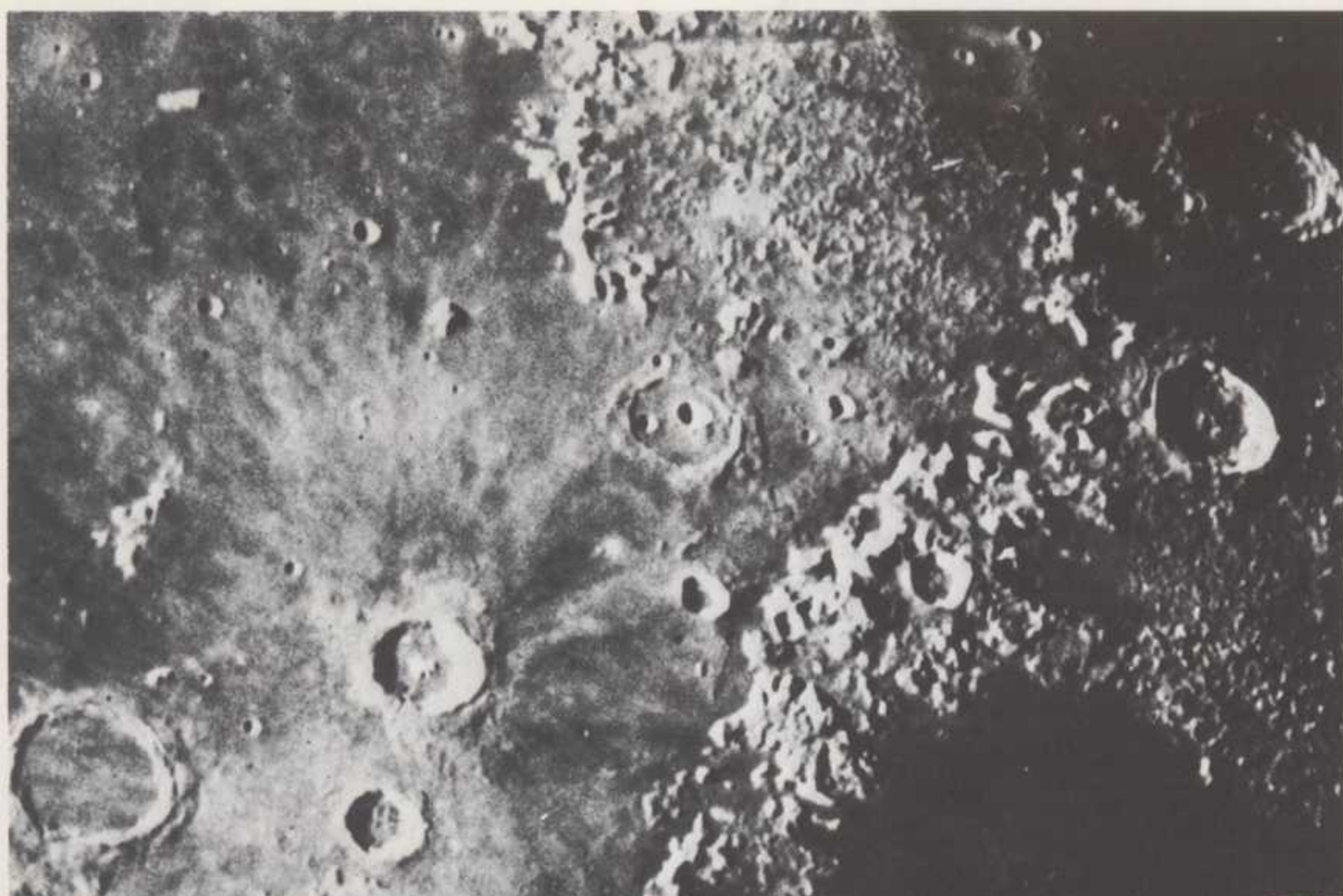
2) *rocas ígneas*, que pueden ser "plutónicas", resultantes de la intrusión y cristalización del magma en el interior de la corteza terrestre, o "volcánicas", generadas por extrusiones superficiales de lava a través de los volcanes;

3) *rocas metamórficas*, que son rocas ígneas o sedimentarias que han estado sometidas a un intenso calentamiento y a una presión elevada en niveles profundos, debido generalmente al efecto de movi-

Ninguna observación con telescopios desde la Tierra habría permitido construir un mapa geológico de la superficie de Marte como el que vemos sobre estas líneas. Que nuestro planeta es sólo una pequeña

parte de un gran sistema se puede constatar hoy en día con el estudio de las muestras y de la información que poseemos. Abajo, una gema lunar (gota vítrea provocada por el impacto de meteoritos).





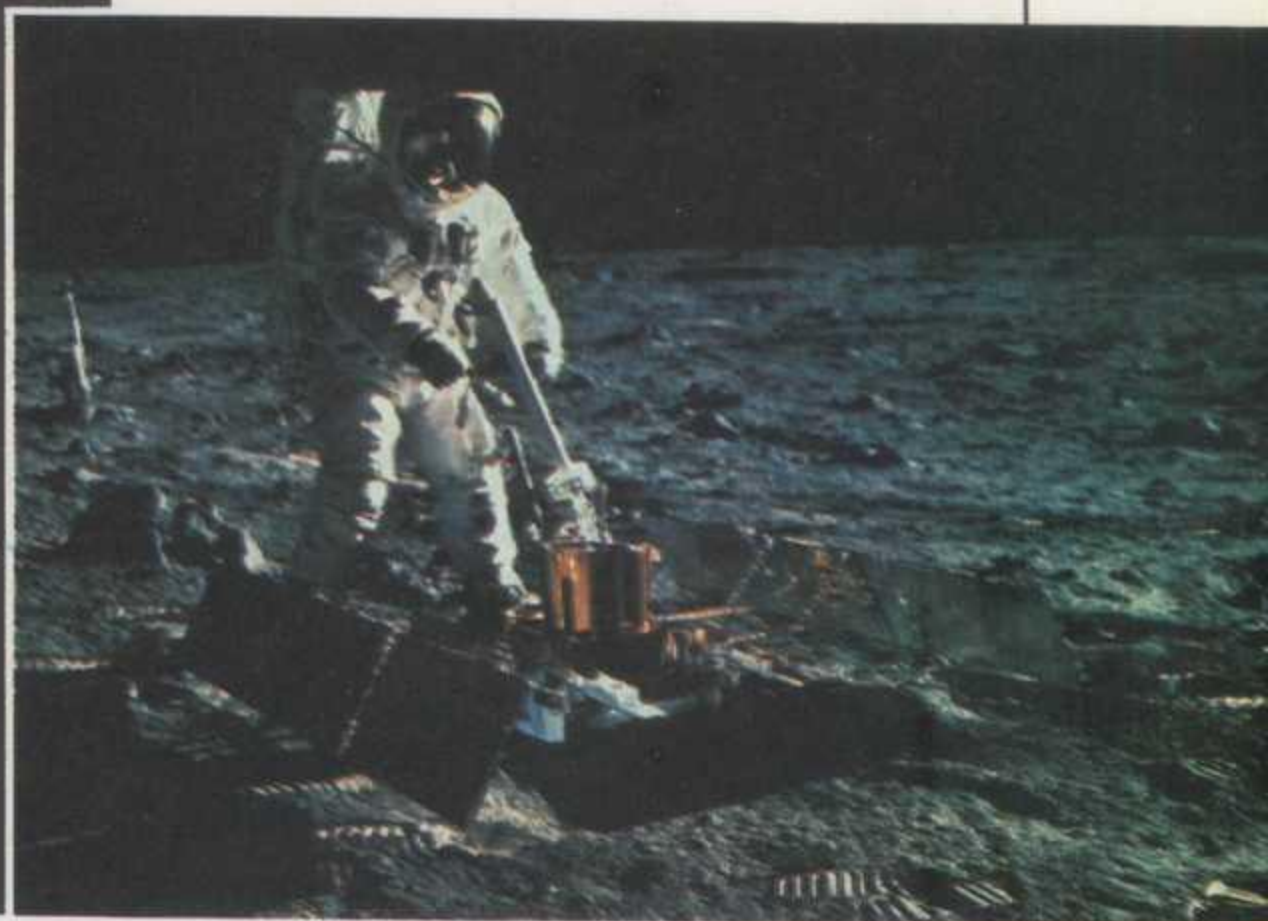
Tres etapas del estudio de la geología lunar, que sería más preciso llamar *Selenología*. Arriba, la Luna vista con un telescopio desde la Tierra: se pueden ver las regiones de los Apeninos lunares y del Cáucaso. Debajo, el

cráter de Eratóstenes en una foto tomada desde el *Apolo 12*, y el cráter de Schmidt, más pequeño, en el Mar de la Tranquilidad. En la foto de la derecha, Aldrin, del *Apolo 11*, instalando un sismógrafo en la superficie lunar.

la corteza terrestre. Se pueden distinguir dos categorías de estructuras: primarias y secundarias. El primer tipo incluye todas aquellas estructuras que no resultan de la modificación de otra anterior. Por el contrario, las estructuras plegadas, o de alguna manera modificadas, forman parte del segundo grupo. En una cuenca sedimentaria, los depósitos precipitan en capas regulares, periódicas o cíclicas, llamadas *lechos* o *estratos* (o *capas*). En este caso se trata de estructuras primarias. Son en cambio estructuras secundarias las que resultan de la acción de los movimientos tectónicos, esto es, responsables de la "arquitectura" de la Tierra. Se deben a la dinámica de las placas litosféricas, cuya colisión provoca la deformación por plegamiento y fractura de las formaciones geo-

lógicas. Las estructuras secundarias, como los pliegues y las fallas, son en general la expresión de la formación de montañas durante los "episodios orogénicos".

Geología dinámica El paso sucesivo, una vez que se han realizado las observaciones fundamentales, se refiere a la Geología dinámica. Se trata de la aproximación experimental al fenómeno geológico. Si, por ejemplo, nos interesan los minerales, podremos "fabricar" nuestros propios cristales a partir de disoluciones adecuadas, introduciendo en ellas sustancias que favorezcan la precipitación química de los elementos disueltos. Por lo general, no es posible obtener con facilidad cristales que se forman naturalmente en condiciones de fuerte presión y alta temperatura, puesto que a veces no es posible reproducir en el laboratorio esas condiciones extremas. Pero de todas formas podemos seleccionar unos componentes análogos y crista-



lizar unos ejemplares a baja temperatura. Alrededor de un lago salado, por ejemplo, es posible observar la progresiva cristalización natural del cloruro de sodio (NaCl).

Los grandes acontecimientos de la Geología, como la creación de los sistemas montañosos y el movimiento tectónico de placas, son muy difíciles de medir si no se poseen aparatos muy sensibles o no se extienden las observaciones a largos períodos de tiempo. Es en este campo en donde los aparatos y los principios de la Geofísica proporcionan la base para la comprensión de estos fenómenos.

Geología histórica Se trata de la rama de la Geología que analiza el tiempo geológico con el fin de establecer límites que permitan la comparación entre puntos distintos del planeta y el estudio de la sucesión de acontecimientos geológicos desde el origen de la Tierra.

Hoy en día, la gran cantidad de datos del conjunto de planetas existente hace posible la elaboración de mapas paleogeográficos (que indican la historia de las grandes formaciones geológicas) para



Arriba, una vista impresionante del gran Cañón del Colorado, y debajo de estas líneas, una secuencia que muestra

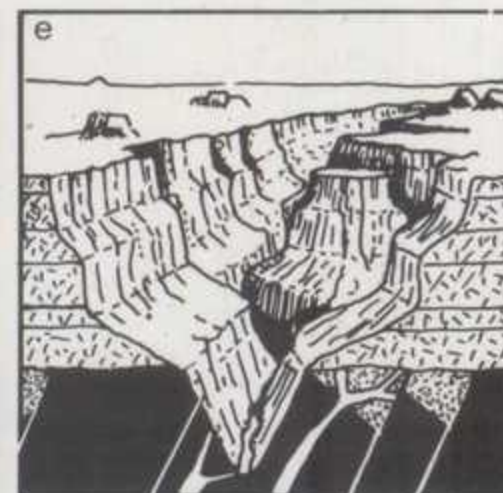
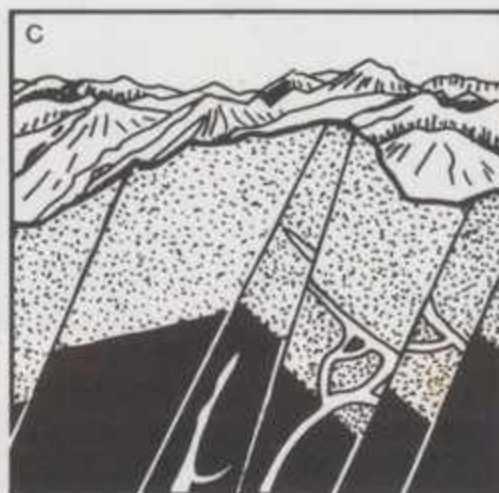
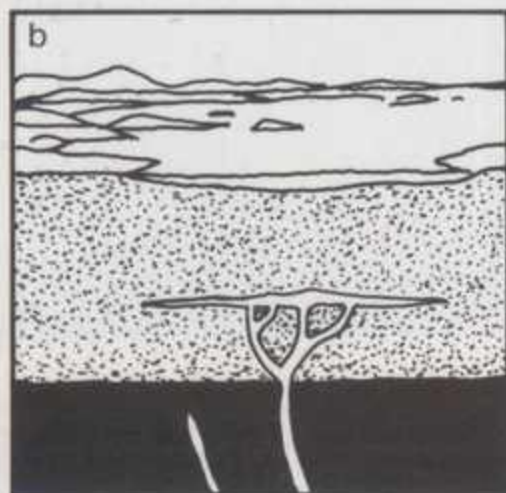
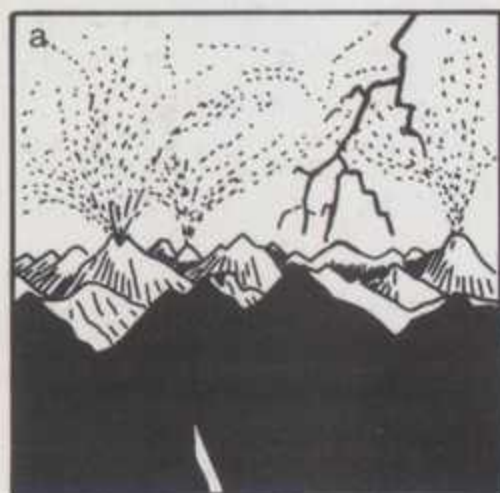
su larga historia geológica. En a) la corteza recién consolidada, hace más de dos mil millones de años. En b) la corteza

erosionada se hunde, recubriéndose de rocas sedimentarias poco compactas, en las que se va inyectando magma que asciende

de las profundidades. En c) grandes fenómenos tectónicos, hace 1.700 millones de años, metamorfizan las rocas

sedimentarias y crean una cadena montañosa. Esta es nuevamente erosionada, formándose una

llanura (d) que después de un levantamiento relativamente reciente (e) se transforma en el actual cañón.



casi todas las zonas y casi todos los períodos de tiempo. La Estratigrafía, estudio de las rocas sedimentarias estratificadas, de los fósiles que contienen y de su evolución histórica, proporciona, junto a la historia de los acontecimientos tectónicos y a los movimientos de la tectónica de placas, datos que coordinados en conjunto permiten obtener una síntesis del estado de la Tierra en cada fase de su pasado geológico.

Las leyes de la Geología Para comprender mejor las leyes de la Geología hay que partir de las leyes fundamentales de la Física, de la Química y de la Biología, que, como se sabe, son universales. Existen sólo cuatro leyes fundamentales que se refieren a la Tierra, pero cada una de ellas se expresa en varios grupos de principios y axiomas.

- **Primera ley:** una existencia finita en el tiempo. La Tierra, que se define en términos de la materia que la constituye, de una masa y un volumen, tiene, en el con-

texto del Sistema Solar, una previsión de tiempo de vida limitado. Partiendo del hecho probable de que todos los planetas del Sistema Solar y el Sol tienen un origen común, se acepta que la Tierra se formó a la vez que el Sol, hace casi 4.600 millones de años, y que terminará su vida con el enfriamiento de éste, dentro de otros muchos millones de años. En segundo lugar, el principio de las reservas de energía "finitas" establece que las materias primas contenidas en nuestro planeta no son inagotables sino limitadas, hecho que es también aplicable al Sol, aunque las reservas de este último sean mucho mayores.

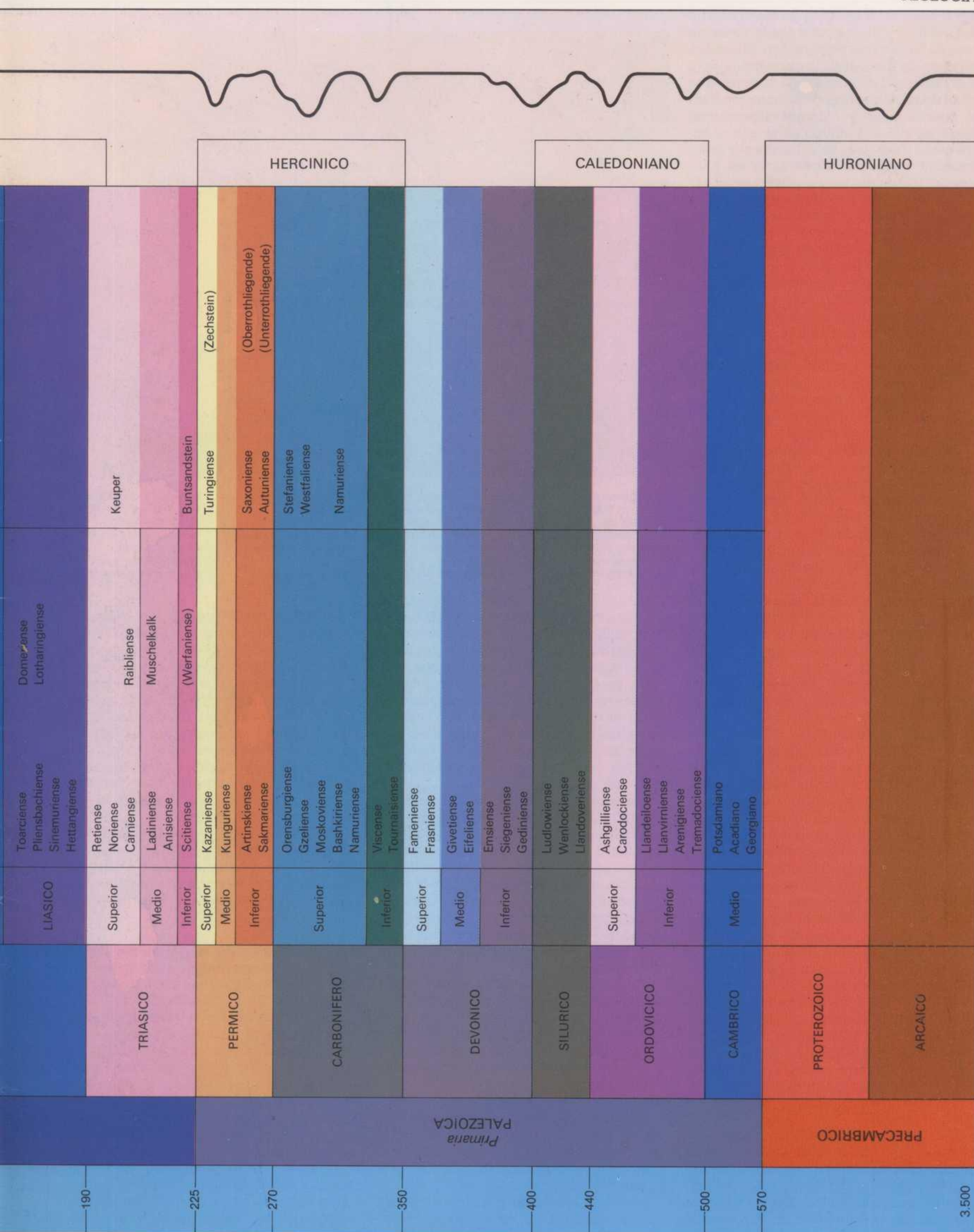
- **Segunda ley:** evolución física. Muy lentamente los caracteres de nuestro planeta van cambiando, a medida que evoluciona gravitacional, química y biológicamente (esto es particularmente válido para la atmósfera, los océanos y los rasgos superficiales). El principio guía fundamental de la Geología, el de la superposición, establece que en una sucesión de capas rocosas las rocas más jóvenes están enci-

ma de las más antiguas, hecho que nos proporciona una escala de tiempos relativa. El principio de la destrucción limitada, pese a la erosión y el reciclaje de los materiales, se confirma por los restos que se conservan de toda la historia geológica. El principio del crecimiento alotrópico establece que tanto los sistemas orgánicos como los inorgánicos crecen según modalidades de subdivisión matemáticamente previsibles (por ejemplo, el veteado de una hoja o las ramificaciones de un río) y en todo el Globo, en su conjunto, el principio de la ordenación por gravedad constata el hecho de que la materia tiende a disponerse en esferas estratificadas según su densidad: la atmósfera sobre la hidrosfera (el aire por encima de los mares), ésta sobre la litosfera, etc., jugando un papel decisivo en esta subdivisión en capas los procesos de convección térmica, activos ya desde el origen de la nebulosa de la que procede la Tierra.

- **Tercera ley:** evolución orgánica. En épocas muy antiguas, en que la atmósfera

MILLONES DE AÑOS	ERA	PERIODO	EPOCA	TABLA GEOCRONOLÓGICA		OROGENESIS	
				FACIES MARINAS	FACIES CONTINENTALES	CI-CLOS	FASES
CENOZOICA		CUATERNARIO	HOLOCENO	Flandriense			
			PLEISTOCENO	Tirreniense	Würm R/W		
				Milazziense	Riss M/R		
				Siciliense	Mindel G/M		
		TERCIARIO	PLIOCENO	Emiliense	Günz D/G		
				Calabriense	Donau		
				Superior Medio Inferior	Villafranchiense (tipo)		
				Messiniense Tortonense Serravalliense Langhiense Aquitaniense	Pontense Sarmatiense		
			MIOCENO	(Elveciense)			
MESOZOICA Secundaria			OLIGOCENO	Latorfiense			
					Estampiense Sannoisiense		
			EOCENO	Priaboniense Luteciense Cuisiense			
		CRETACICO	PALEOCENO	Ilerdiense Tanetiense Montiense Daniense			
			Superior	Senoniense			
			Inferior	Urgoniense			
			MALM	(Portlandiense)			
		JURASICO	DOGGER				

ALPINO



Geometría analítica

En geometría se habla de *métodos sintéticos* y de *métodos analíticos* en un sentido técnico muy específico. El estudio sintético de una cuestión geométrica es el que se hace con recursos deductivos que no precisan de representaciones mediante coordenadas y cálculos algebraicos, mientras que el analítico es el que sí utiliza éstos. Pero ¿qué se entiende por coordenadas y cálculos algebraicos en geometría? Veámoslo muy sencillamente.

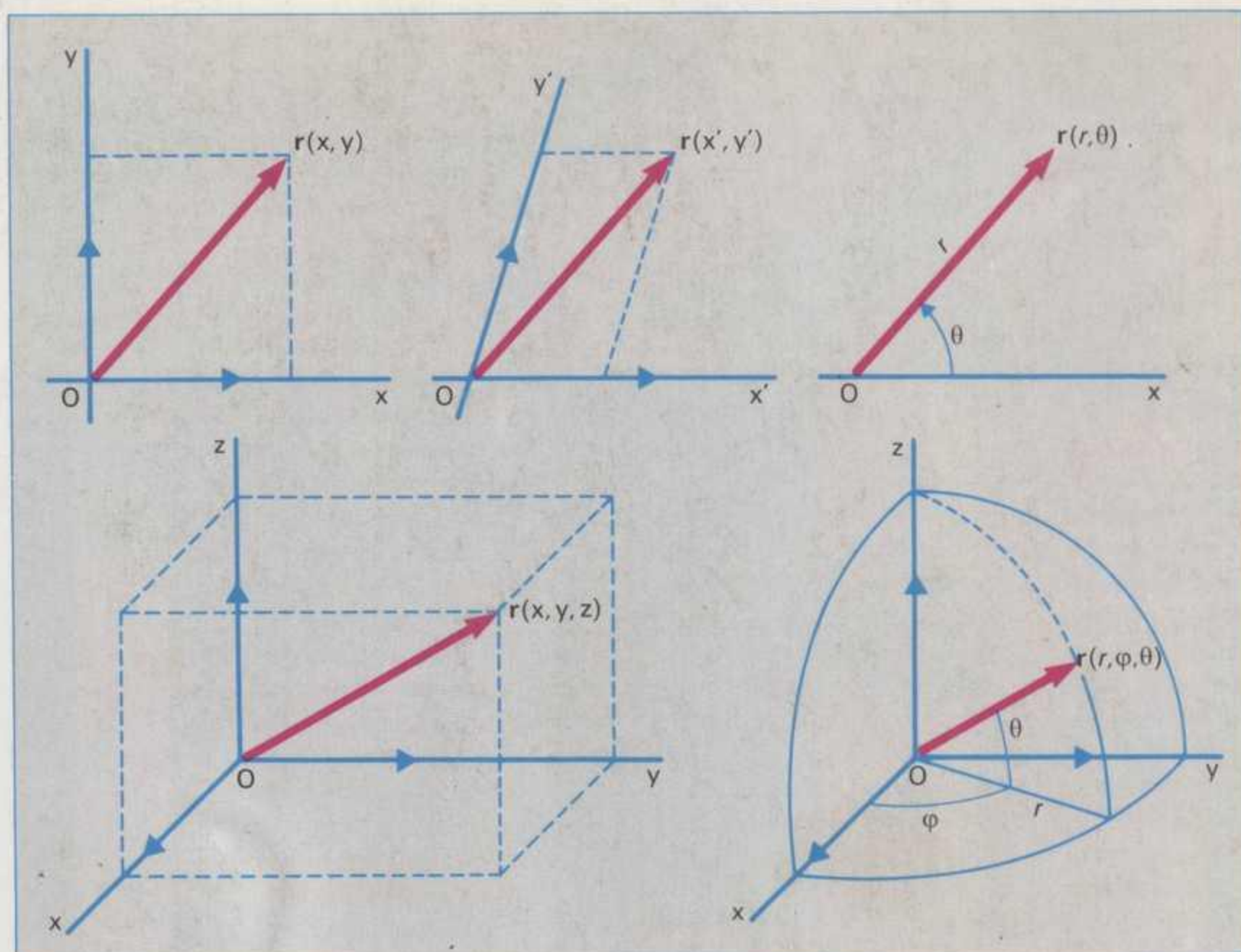
Sobre una recta es fácil asignar a cada punto un número sin más que tomar un fijo como origen y atribuir a aquél la distancia a éste, medida con una cierta unidad; la ambigüedad de si el punto queda en un sentido o el opuesto se resuelve añadiendo este dato o, con un simple recurso algebraico, atribuyendo signo positivo a uno de los dos sentidos y negativo al otro. El problema inverso del dado —¿corresponde a cada número un punto?— lo han *resuelto* los matemáticos con la invención de los números reales y postulando el carácter biunívoco de la correspondencia números-puntos.

Cuando se trata de puntos del plano la cuestión se complica un poco. Y, por consiguiente, caben múltiples modos de solución. Un método sencillo sería atribuir a cada punto dos números que fueran sus distancias a otros dos fijos; como los puntos que distan una cantidad dada de uno fijo forman una circunferencia, resultaría que tal método equivaldría a dar el punto como intersección de las dos circunferencias, pero siendo dos los puntos de corte para tal caso, habría que dar un procedimiento para discriminar uno de otro (lo que no es difícil).

El método anterior sugiere inmediatamente otros. Por ejemplo, podría sustituirse la segunda distancia por un ángulo; así bastará dar la distancia a un punto fijo y un ángulo entre 0 y 2π (radianes) para definir la posición de cualquier punto. Ello equivale a dar los puntos como intersecciones de circunferencias y semirrectas con origen en el centro de aquéllas.

Existe un método aún más simple, con el que de hecho estamos todos familiarizados desde la época escolar (pero que en su día fue un descubrimiento), porque se usa en los mapas, en los gráficos de la fiebre de los enfermos, en las gráficas de producción, etc., y que es el conocido como *cartesiano*. Se da cada punto por sus dos distancias a dos rectas perpendiculares, llamadas ejes de abscisas —el que se ve horizontal— y de ordenadas —el que se ve vertical. Además, si no hay razón para usar otras letras, suele denotarse a las primeras por la letra x y las segundas por la y . El convenio usual (y no obligado) es el de utilizar sentido positivo hacia la derecha (para abscisas) y hacia arriba (para ordenadas).

Tal tipo de coordenadas también puede interpretarse con la idea de que cada punto es intersección de dos líneas rectas perpendiculares; en efecto: cada uno de ellos lo es de las dos paralelas a los ejes trazadas con la condición de que las dis-



En la figura se muestran diferentes sistemas de coordenadas: los tres primeros, planos, los dos últimos, espaciales; todos,

menos el tercero y quinto, rectilíneos, y éstos curvilíneos. En concreto se trata (por orden) de: coordenadas rectangulares;

coordenadas rectilíneas generales (con unidades diferentes en cada eje); coordenadas polares; coordenadas rectangulares en el

espacio; y coordenadas esféricas. En cada caso se aprecia cómo el vector posición r de un punto se determina por sus diferentes coordenadas.

tancias a éstos son las coordenadas dadas. Esto último lleva a la idea de generalizar las coordenadas rectangulares por otras en las que los dos ejes no formen ángulo recto. En tal caso se tienen coordenadas rectilíneas generales; la diferencia está ahora en que las distancias se toman no sobre las proyecciones ortogonales sino sobre las paralelas a los dos ejes. También podrían tomarse unidades distintas en cada uno de ellos.

Por último, en el espacio tridimensional pueden arbitrase fórmulas análogas. Por ejemplo, las coordenadas cartesianas rectangulares vendrán dadas por las distancias a tres planos ortogonales que tienen un punto común (el vértice del triedro que forman), que es el origen de coordenadas, y se cortan dos a dos en los tres ejes coordenados. Naturalmente si los planos no se cortan ortogonalmente las proyecciones serán paralelas.

Es fácil recurrir, también, a otros procedimientos. Por ejemplo, el inmediato que sugiere la geografía elemental: un punto puede darse por su distancia a uno fijo, lo que le sitúa en la superficie de una esfera, y ya en ésta por dos números que miden dos ángulos (por ejemplo longitud y latitud).

Los ejemplos anteriores no son más o menos hipotéticos sino que representan tipos de coordenadas usuales: *cartesianas* unas, *curvilíneas* otras. En la figura adjunta se dan sus peculiaridades.

Desde la invención del álgebra vectorial los sistemas de coordenadas rectilí-

neas se han reinterpretado del siguiente modo: a) se les ha considerado formadas por dos elementos; b) el primero de ellos un punto del espacio, tomado como origen; y c) el segundo un conjunto de n vectores linealmente independientes o *base* ($n = 1$ en la recta, $n = 2$ en el plano, $n = 3$ en el espacio). Si los vectores son ortogonales dos a dos y de módulo o norma unitario se dice que el sistema es cartesiano rectangular. Si los vectores no son ortogonales o no son unitarios se tratará de un sistema rectilíneo arbitrario.

La relación con la idea clásica es inmediata; en un caso se proyecta el punto y se miden las proyecciones; en el otro se descompone el vector en las direcciones de los vectores de la base y se hallan sus componentes.

El nacimiento de la geometría analítica

La correspondencia entre puntos y números es fundamental pero no resuelve por sí sola la cuestión de crear una geometría que se pueda tratar algebraicamente. Buena prueba de ello es que, desde antiguo, era conocida; los geógrafos egipcios y griegos y los geómetras griegos ya usaron coordenadas sin, por ello, acercarse a la creación de la geometría analítica. Por su parte, Oresme, en pleno siglo XIV, establece un uso de las coordenadas ya próximo al actual.

Para permitir el nacimiento de la geometría analítica faltaban dos pasos adicionales: uno, establecer la correspondencia entre álgebra y geometría (lo que se con-

sigue a lo largo de la Edad Media); dos, establecer la correspondencia entre curva y función (que se consigue en tiempos modernos).

Aunque los griegos, por ejemplo Arquímedes, ya usan representaciones geométricas para problemas aritméticos, no se consolida el uso hasta que los algebristas musulmanes —Al-Joarizmi y sus sucesores— e indios utilizan a partir del siglo IX representaciones gráficas para ecuaciones cuadráticas. Por el contrario, sólo más tarde (siglos XIII al XVI) los matemáticos europeos —Fibonacci, Viète, etc.— se familiarizan con la práctica contraria: resolver problemas geométricos mediante cálculos algebraicos. Esto último, que hoy resulta simple y casi obvio (tanto o más que la correspondencia en el sentido contrario), sólo fue posible cuando se fue transformando el álgebra retórica en simbólica.

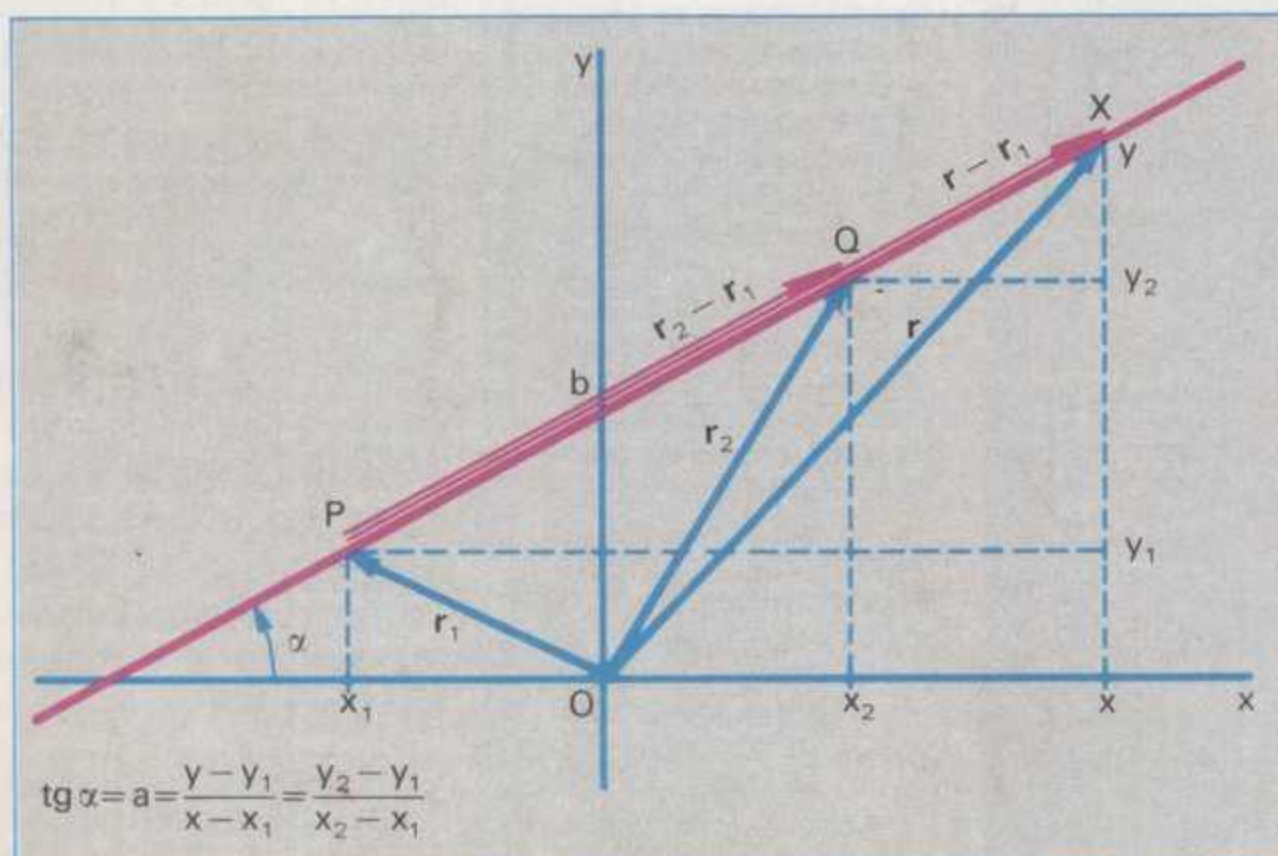
El último paso, asociando líneas a sus ecuaciones, lo dan Fermat (1601-1665) y Descartes (1596-1650) en el siglo XVII. Aunque no hay dudas de la originalidad de los trabajos de geometría analítica del primero, hacia los años 20 y 30 del siglo, lo cierto es que se publicaron después de su muerte. En cuanto al libro de Descartes, *La Géométrie*, aparece en 1637 (como apéndice a su *Discours de la Méthode*) y en él se dan ya las ideas básicas de la geometría analítica.

En los dos siglos siguientes el Cálculo se desarrolla notablemente y la geometría se convierte en uno de sus campos de aplicación hasta hacer aparecer una especialidad: la geometría diferencial. Ello sin perjuicio del cultivo de los métodos puramente algebraicos que, en tiempos recientes, han dado nuevos frutos.

Ejemplos elementales de geometría analítica plana En primer lugar, si se tiene un sistema coordenado ortonormal (es decir: de ejes ortogonales y unidades idénticas en ambos) puede cada punto P darse por sus dos coordenadas o por el radio vector que le une con el origen, llamado, a veces, vector posición:

$$\vec{OP} = \mathbf{r} = (x, y)$$

En la ilustración se resumen los datos y cálculos que conducen a la ecuación de una recta, respecto a un sistema ortogonal de coordenadas, cuando se dan dos puntos de la misma o, lo que es equivalente, un punto y su dirección o, en otra forma, la pendiente del ángulo que la misma forma con el eje x y la ordenada en que corta al eje y.



Si se tienen dos puntos P y Q, y se considera que el plano es euclídeo, resulta inmediato dar, por ejemplo, su distancia.

$$d(P, Q) = \|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1\| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Pero lo más interesante y útil es encontrar las ecuaciones de diferentes curvas y, recíprocamente, representar gráficamente ecuaciones. Veamos algunos ejemplos:

La recta que pasa por dos puntos P y Q de radios vectores $\mathbf{r}_1 = (x_1, y_1)$ y $\mathbf{r}_2 = (x_2, y_2)$ tendrá por ecuación, siendo \mathbf{r} el vector posición de un punto arbitrario X de la recta y λ un parámetro real.

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}_1 = \lambda(\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)$$

fórmula que no hace sino expresar que los tres puntos X, P y Q están alineados.

Utilizando las coordenadas, la anterior ecuación vectorial se transforma en las dos escalares siguientes:

$$\begin{aligned} x - x_1 &= \lambda(x_2 - x_1) \\ y - y_1 &= \lambda(y_2 - y_1) \end{aligned}$$

que, eliminando λ , dan la ecuación

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Llamando a al valor $(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$ que es, precisamente, la pendiente de la recta, o tangente del ángulo que ésta forma con el eje de abscisas, se tendrá:

$$y - y_1 = a(x - x_1)$$

que también podría ponerse en la forma canónica:

$$y = ax + b$$

donde $b = y_1 - ax_1$ tiene el significado de ser la ordenada de la recta en el origen.

Recíprocamente puede probarse que toda expresión de la forma $Ax + By + C = 0$ (con A, B y C números reales) representa una recta en el plano.

Análogamente puede probarse que una expresión cuadrática del tipo

$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0$ representa una cónica (elipse, parábola, hipérbola o, en ciertos casos, formas degeneradas o imaginarias de las mismas). Por ejemplo, es inmediato comprobar que

$$x^2 + y^2 = a^2$$

representa una circunferencia de centro el origen y radio a . O que

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

representa la elipse de centro el origen y ejes de longitudes a y b .

Veamos cómo los métodos de la geometría analítica hubieran podido conducir a dichas ecuaciones partiendo de sus definiciones como *lugares geométricos*.

La circunferencia es el lugar geométrico de los puntos que distan una cantidad fija de uno dado llamado centro. Sea \mathbf{r} el radio vector del punto genérico tomando el origen de coordenadas en el centro; la ecuación será simplemente

$$\|\mathbf{r}\| = a \quad \text{o} \quad \|\mathbf{r}\|^2 = a^2$$

que, expresando $\|\mathbf{r}\|^2$ por medio de las componentes, dará:

$$x^2 + y^2 = a^2$$

Más generalmente podría haberse obtenido la ecuación de la circunferencia de centro $\mathbf{r}_0 = (x_0, y_0)$ y radio a . En tal caso sería:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = a^2$$

que podría ponerse como:

$$x^2 + y^2 - (2x_0)x - (2y_0)y + (x_0^2 + y_0^2 - a^2) = 0$$

Análogamente: sea la elipse de centro el origen, ejes a y b , y cuyos focos están en los puntos $(-c, 0)$ y $(c, 0)$ con $c^2 = a^2 - b^2$. Como lugar geométrico, la elipse es el de los puntos cuya suma de distancias a los dos focos vale $2a$; entonces se tendrá, si (x, y) es el punto genérico:

$$\sqrt{(x+c)^2 + y^2} + \sqrt{(x-c)^2 + y^2} = 2a$$

que puede ponerse como

$$\sqrt{(x+c)^2 + y^2} = 2a - \sqrt{(x-c)^2 + y^2}$$

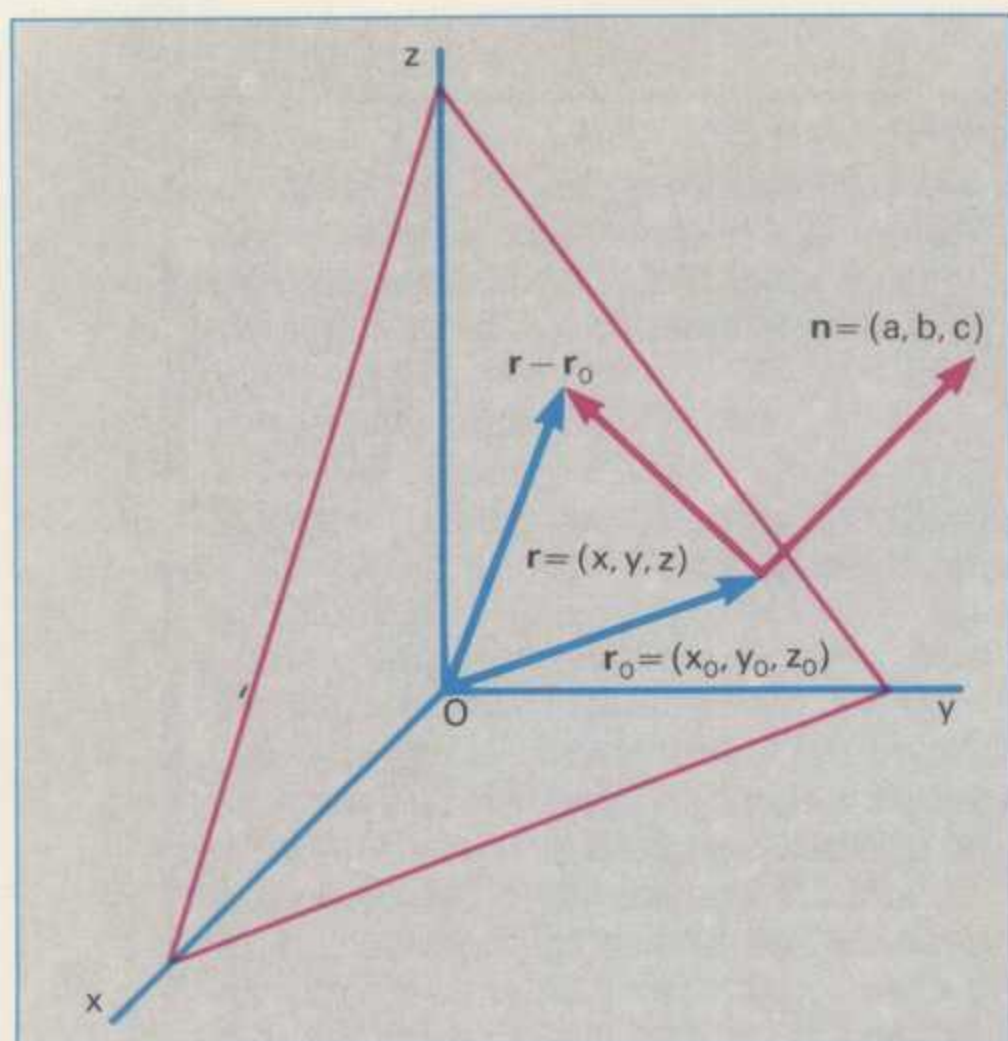
que, elevando al cuadrado y simplificando, queda

$$a^2 - cx = a\sqrt{(x-c)^2 + y^2}$$

que, volviendo a elevar al cuadrado, proporciona la expresión, previa simplificación (y uso de la igualdad $a^2 - c^2 = b^2$), siguiente:

$$b^2x + a^2y^2 = a^2b^2$$

que se reduce inmediatamente a la ecuación anunciada.



En la ilustración se resumen los datos y cálculos que conducen a la ecuación de un plano, respecto a un sistema ortogonal

de coordenadas, cuando se da un punto por el que pasa y la dirección a la que es normal dicho plano.

Más interesante resulta también la posibilidad de estudiar curvas más complicadas (las que corresponden a ecuaciones de grado superior o, incluso, a funciones trascendentes).

Pueden también tratarse problemas más sofisticados. Por ejemplo, las intersecciones de dos curvas se corresponden

con las soluciones del sistema de ecuaciones de ambas. Así, los puntos de intersección de dos rectas no son otra cosa que los puntos cuyas coordenadas cumplen el sistema lineal correspondiente; es decir

$$\begin{aligned} a_{11}x + a_{12}y &= b_1 \\ a_{21}x + a_{22}y &= b_2 \end{aligned}$$

Análogamente se tendría que la solución de la ecuación

$$ax^2 + bx + c = 0$$

no es otra cosa que hallar la intersección de la parábola $y = ax^2 + bx + c$ con el eje de las x , cuya ecuación es $y = 0$.

Si además de recursos algebraicos se utilizan técnicas analíticas como la derivación, la integración, etc. entonces las posibilidades se multiplican enormemente y pueden determinarse tangentes, calcularse curvaturas, hallar áreas limitadas por curvas, etc.

Ejemplos elementales de geometría analítica del espacio Análogamente a como sucede en el caso bidimensional es fácil encontrar en el espacio las ecuaciones que representan superficies.

Así, por ejemplo, si \mathbf{r} es el radio vector de un punto genérico de un plano, \mathbf{r}_0 el de uno determinado de sus puntos y \mathbf{n} un vector unitario perpendicular al plano,

resulta que $\mathbf{r} - \mathbf{r}_0$ es un vector paralelo al plano y por tanto su producto escalar por \mathbf{n} será nulo; es decir

$$(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \cdot \mathbf{n} = 0$$

que, utilizando coordenadas, quedará:

$$a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0) = 0$$

siendo (a, b, c) las componentes de \mathbf{n} (o cosenos de los ángulos que forman la perpendicular al plano con los ejes) y (x, y, z) y (x_0, y_0, z_0) las coordenadas del punto genérico y del dado.

Puede probarse fácilmente que la ecuación lineal

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

(con A, B, C y D reales cualesquiera) representa del modo más general posible un plano.

Análogamente se tiene que una expresión cuadrática en (x, y, z) representa una cuádrica. Por ejemplo, la esfera de centro $\mathbf{r}_0 = (x_0, y_0, z_0)$ y radio a tiene por ecuaciones vectoriales y en coordenadas las siguientes:

$$\begin{aligned} \|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0\|^2 &= a^2 \\ (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 &= a^2 \end{aligned}$$

Esta última puede escribirse como:

$$x^2 + y^2 + z^2 - (2x_0)x - (2y_0)y - (2z_0)z + (x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 - a^2) = 0$$

Las curvas en el espacio necesitan dos ecuaciones al representarlas como intersección de dos superficies. Por ejemplo, la recta intersección de dos planos viene dada por

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

$$A'x + B'y + C'z + D' = 0$$

La recta se da a veces también por su ecuación vectorial. Sea \mathbf{r}_1 el vector posición de un punto fijo y sea \mathbf{n} el vector unitario cuya dirección coincide con la recta; evidentemente el vector posición \mathbf{r} de cualquier punto será tal que

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 + \lambda \mathbf{n}$$

siendo λ un parámetro real. En coordenadas quedaría

$$\begin{aligned} x &= x_1 + \lambda a \\ y &= y_1 + \lambda b \\ z &= z_1 + \lambda c \end{aligned}$$

siendo (a, b, c) las componentes de \mathbf{n} (o cosenos de los ángulos que forman la recta con los ejes). En las tres ecuaciones anteriores se puede, si se desea, eliminar el parámetro λ y reducirlas a dos, que suelen escribirse en la forma

$$\frac{x - x_1}{a} = \frac{y - y_1}{b} = \frac{z - z_1}{c}$$



René Descartes (1596-1650) es una de las grandes figuras del pensamiento filosófico moderno. Su fama descansa fundamentalmente sobre sus obras metafísicas y metodológicas. Sin embargo, su dedicación a la matemática y a otras ciencias fue muy notable. Entre sus 20 y 30 años de edad parece que la matemática era su disciplina preferida. En 1637 apareció su *Discours de la Méthode*; en dicha obra se contiene un ensayo en el que se funda la Geometría analítica, *La Géométrie*. Resulta curioso señalar que, en contra de lo que pudiera hacer pensar la denominación actual "ejes cartesianos", Descartes no introdujo formalmente el eje de ordenadas y . Como físico y matemático Descartes también obtuvo importantes resultados algebraicos, ópticos y mecánicos.

que expresa que $\mathbf{r} - \mathbf{r}_1$ es paralelo a \mathbf{n} . Naturalmente, si en vez de dar \mathbf{r}_1 y \mathbf{n} se dieran los vectores de dos puntos, \mathbf{r}_1 y \mathbf{r}_2 , la ecuación vectorial hubiera sido

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}_1 = \lambda(\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)$$

y las ecuaciones en coordenadas

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}$$

Geometría analítica "avanzada" Obviamente el Álgebra elemental aplicada a la geometría sólo permite estudiar rectas, planos, cónicas, cuádricas y algunas curvas y superficies de ecuaciones algebraicas sencillas. Sin embargo, la Geometría analítica se ha desarrollado extraordinariamente y, por un lado, ha estado en el origen de importantes descubrimientos matemáticos y, por otro, éstos han realimentado aquel desarrollo. Muy sumariamente citemos algunos casos.

En primer lugar la Geometría analítica permitió, o facilitó, el desarrollo del Cálculo al poner de manifiesto la relación entre curva y función. Luego, el Cálculo abrió insospechadas posibilidades a la Geometría analítica. A partir de entonces coexistieron en ella los métodos algebraicos con los infinitesimales.

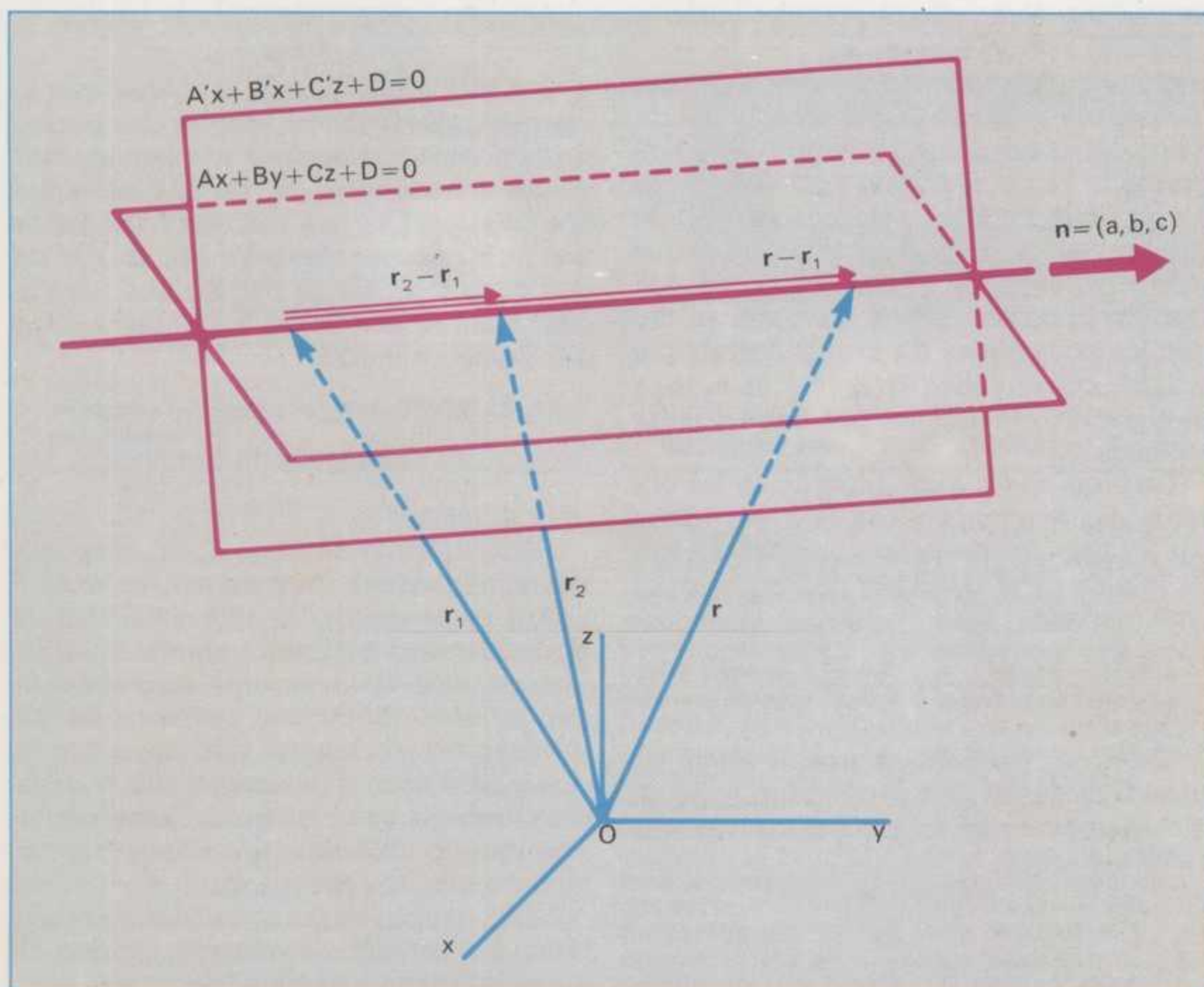
Lo curioso es que ello acabó derivando en dos especialidades: las geometrías diferencial y algebraica. La primera se dedicó al estudio, mediante el Cálculo diferencial, de las propiedades (determinación de tangentes, cálculo de curvaturas, etc.) de curvas y superficies. Sobre todo por obra de Gauss la geometría diferencial clásica agotó su tema en el siglo pasado. La geometría algebraica, por otra parte, es la que estudia curvas y superficies que tienen ecuaciones algebraicas y

Pierre de Fermat (1661-1665) fue un jurista y funcionario, que nació y murió en las cercanías de Tolouse, ciudad en la que vivió y trabajó. Sin embargo, ha pasado a la historia como uno de los matemáticos más importantes de todos los tiempos. Se le recuerda, fundamentalmente, por sus trabajos en Teoría de Números y, especialmente, por el llamado "último teorema de Fermat" (el que afirma que $x^n + y^n = z^n$ no tiene soluciones enteras para el exponente natural $n > 2$). Sin embargo, su obra se extiende a todas las ramas de la Matemática. Es de destacar su papel como creador (controvertido) o al menos precursor del Cálculo y de la Geometría analítica. Una *Memoria* suya sobre el cálculo de máximos y mínimos, que circuló entre los matemáticos franceses hacia 1636, es prueba de ello. También fue, con Pascal, el creador del Cálculo de Probabilidades.



Justo Barboza

las transformaciones geométricas de las mismas que pueden representarse por expresiones birracionales en las coordenadas.



A lo largo de los siglos XIX y XX la aparición del concepto de espacio vectorial (y, los relacionados con el mismo, espacios puntuales afines y espacios proyectivos), la extensión de los resultados geométricos a espacios de dimensión n cualquiera, la aparición del concepto de *variedad*, etc. extienden enormemente las posibilidades de la geometría.

La Geometría algebraica moderna, dedicada al estudio de variedades algebraicas y ligada a una rama tan novedosa y dinámica de la Matemática como el Álgebra conmutativa, y la Geometría diferencial moderna que estudia, con los más modernos métodos de la Topología y el Análisis General, variedades diferenciables, son las herederas actuales del ya clásico invento cartesiano para el análisis de curvas y superficies.

Véase **Álgebra; Análisis matemático; Curvas y superficies; Derivada y diferencial; Espacio euclídeo; Espacio matemático; Espacios vectoriales y afines; Formas cuadráticas, cónicas y cuádricas; Geometría diferencial; Geometrías.**

En la figura se ve cómo una recta puede darse, en el espacio, de diferentes modos; por ejemplo: como intersección de dos planos; determinada por dos de sus puntos;

o definida por uno de sus puntos y su dirección. Según los casos, se obtendrán sus ecuaciones de un modo u otro, aunque con resultados equivalentes.

Geometría diferencial

La geometría analítica fue, en un principio, puramente algebraica. Ello quiere decir que estudiaba, con métodos extraídos del Álgebra, curvas y superficies cuyas ecuaciones eran expresiones también algebraicas. Pero según se fue desarrollando el Cálculo infinitesimal fueron imponiéndose en geometría analítica los métodos diferenciales. Determinación de tangentes a curvas y de planos tangentes a superficies son los problemas inicialmente planteados y resueltos; pero, a lo largo del tiempo, éstos se fueron ampliando y sofisticando hasta consolidar una disciplina: la *Geometría diferencial* clásica. Esta tiene por objeto el estudio de curvas planas, curvas alabeadas (curvas en el espacio tales que no están contenidas en ningún plano) y superficies en el espacio con los medios propios del Cálculo infinitesimal.

La geometría diferencial de curvas y superficies Sea P un punto, de radio vector \mathbf{r} , en una curva alabeada dada, en un cierto sistema cartesiano, por sus ecuaciones paramétricas

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$$

si se elige como nuevo parámetro el arco de curva s a partir de un cierto punto; es decir:

$$s = \int_{t_0}^{t_1} ds = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{[\dot{x}(t)]^2 + [\dot{y}(t)]^2 + [\dot{z}(t)]^2} dt$$

las ecuaciones anteriores se sustituirán por

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(s) = (x(s), y(s), z(s))$$

En cualquiera de los casos la tangente en el punto \mathbf{r}_1 tendrá por ecuación vectorial (según se use t o s , y denotando las derivadas, como es usual, con punto o prima respectivamente):

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}_1 = \lambda \dot{\mathbf{r}}(t_1)$$

$$\mathbf{r} - \mathbf{r}_1 = \lambda \mathbf{r}'(s_1)$$

o, en coordenadas,

$$\frac{x - x_1}{\dot{x}(t_1)} = \frac{y - y_1}{\dot{y}(t_1)} = \frac{z - z_1}{\dot{z}(t_1)}$$

$$\frac{x - x_1}{x'(s_1)} = \frac{y - y_1}{y'(s_1)} = \frac{z - z_1}{z'(s_1)}$$

Es interesante observar que en el caso de curvas alabeadas éstas no tienen una sola normal (recta perpendicular a la tangente) en un punto \mathbf{r}_1 , sino que poseen un *plano normal*, precisamente el perpendicular a la tangente en dicho punto. Su ecuación vectorial se obtiene igualando a cero el producto escalar del vector, contenido en el plano, $\mathbf{r} - \mathbf{r}_1$, y su perpendicular $\dot{\mathbf{r}}(t_1)$:

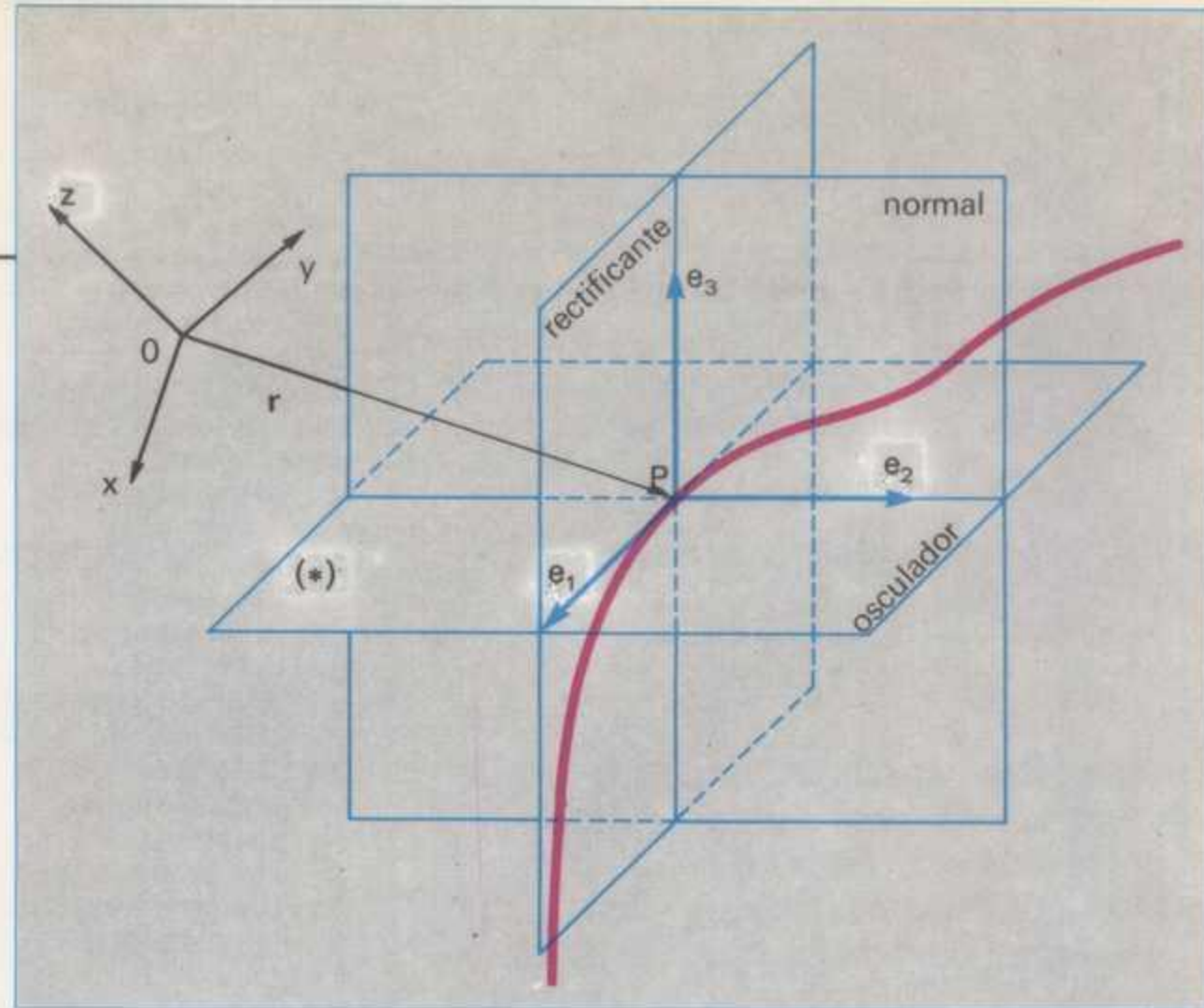
$$(\mathbf{r} - \mathbf{r}_1) \cdot \dot{\mathbf{r}}(t_1) = 0$$

que, en coordenadas, podría ponerse

$$(x - x_1)\dot{x}(t_1) + (y - y_1)\dot{y}(t_1) + (z - z_1)\dot{z}(t_1) = 0$$

o las análogas en el parámetro s .

En una curva alabeada, asociado a cada punto P de la misma, puede definirse un *triedro intrínseco* por tres vectores ortonormales, tangente, normal principal y binormal, $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$. En la figura se muestran los mismos y los planos que definen, rectificante, normal y osculador.



Entre las infinitas normales a la curva que contiene el plano normal se distinguen dos: la llamada *normal principal*, cuya dirección es la del vector $\mathbf{r}''(s)$, y la de su perpendicular llamada *binormal*. Evidentemente la dirección de $\mathbf{r}''(s)$ es, por definición, la de $d[\mathbf{r}'(s)]/ds$, y, como $\mathbf{r}'(s)$ es un vector unitario, resultará que su derivada será un vector perpendicular (estará, por tanto, en el plano normal), cuyo módulo será $d\phi/ds$, siendo ϕ el ángulo entre dos tangentes, que se define como curvatura k , es decir, como inversa del radio de curvatura R (por analogía a lo que sucede en la circunferencia: $ds = R d\phi$).

Se tiene así definido un triedro que se llama *móvil, intrínseco* o de Frenet-Serret, ligado al punto variable de la curva en estudio. Se toma: el vector unitario \mathbf{e}_1 en la dirección de la tangente y sentido el de s creciente, su valor es por tanto $\mathbf{r}'(s)$; el \mathbf{e}_2 en la de la normal principal y sentido el de $\mathbf{r}''(s)$, cumple que $\mathbf{r}''(s) = k\mathbf{e}_2$; el tercer vector es el perpendicular a ambos, tomado de forma que el triedro sea "a derechas", es decir, puede ponerse como el producto vectorial $\mathbf{e}_3 = \mathbf{e}_1 \wedge \mathbf{e}_2$.

Cuando una curva es plana su única curvatura es $d\phi/ds$. Cuando es alabeada, dicha curvatura (ángulo de giro de la tangente) se llama de *flexión*, para distinguirla de otra que también existe: la de giro de la binormal llamada de *torsión*, $d\theta/ds$, que vale, naturalmente, el módulo de $d\mathbf{e}_3/ds$. Con un poco de cálculo vectorial se tienen las ecuaciones de Frenet-Serret, que indican cómo varían los vectores $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$ y \mathbf{e}_3 al variar s (y que se dan en el cuadro adjunto).

Cuando se trata de superficies las cosas son más complicadas. Sea, por ejemplo, P un punto, de radio vector $\mathbf{r} = (x, y, z)$, de la superficie dada por sus ecuaciones paramétricas:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$$

Entonces también se puede elegir un *triedro intrínseco*; en cada punto P , de radio vector \mathbf{r} , está formado por los tres vectores siguientes

$$\mathbf{u}_1 = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial u}, \quad \mathbf{u}_2 = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial v}, \quad \mathbf{u}_3 = \mathbf{n}$$

Los vectores \mathbf{u}_1 y \mathbf{u}_2 están, por la forma de definirlos, en el plano tangente en P y ellos mismos son tangentes, respectivamente, a las curvas $u = \text{Constante}$ y $v = \text{Constante}$ que pasan por P . No son, en general, de módulo unidad ni ortogonales entre sí. Por su parte $\mathbf{u}_3 = \mathbf{n}$, vector normal en P (que existe si las ecuaciones que definen la superficie tienen derivadas continuas), es perpendicular al plano tangente y unitario (por tanto es perpendicular a \mathbf{u}_1 y \mathbf{u}_2). Un cálculo un poco trabajoso muestra que las componentes de \mathbf{n} y, por tanto, los coeficientes de la ecuación del plano tangente en \mathbf{r} , son proporcionales a los jacobianos J_1, J_2 y J_3 , que valen

$$J_1 = \begin{vmatrix} \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial v} \\ \frac{\partial z}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{vmatrix}, \quad J_2 = \begin{vmatrix} \frac{\partial z}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial v} \\ \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial v} \end{vmatrix}, \quad J_3 = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial v} \\ \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial v} \end{vmatrix}$$

y, dado su carácter unitario, se tendrá que

$$\mathbf{n} = \frac{1}{\sqrt{J_1^2 + J_2^2 + J_3^2}} (J_1, J_2, J_3)$$

Por otra parte, puede probarse que el elemento ds de longitud entre dos puntos próximos de la superficie y la llamada curvatura normal, $k_n = 1/R_n$, de una curva sobre la superficie, se expresan mediante dos formas cuadráticas en (du, dv) , si los dos puntos próximos por los que pasa la citada curva son (u, v) y $(u + du, v + dv)$, del siguiente modo:

$$ds^2 = \|d\mathbf{r}\|^2 = E du^2 + 2F du dv + G dv^2$$

$$k_n = \frac{1}{R_n} = \frac{L du^2 + 2M du dv + N dv^2}{ds^2}$$

Dichas formas se denominan, respectivamente, primera (la de coeficientes E, F y G) y segunda (la de coeficientes L, M y N) formas cuadráticas fundamentales. La expresión de las mismas se da en el cuadro adjunto. Conviene señalar que los coeficientes dependen sólo de u y v ; lo que quiere decir que unos seres inteligentes y bidimensionales que viviesen en la superficie podrían medirlas. De ahí el carácter intrínseco del resultado.

En el cuadro adjunto se definen también los tipos de curvaturas y se dan algunas relaciones interesantes.

CUADRO I (Curvas)

1. Definición triedro intrínseco

$$\mathbf{e}_1 = \frac{d\mathbf{r}}{ds} \quad \mathbf{e}_2 = R \frac{d^2\mathbf{r}}{ds^2} \quad \mathbf{e}_3 = \mathbf{e}_1 \wedge \mathbf{e}_2$$

(\mathbf{e}_1 , \mathbf{e}_2 y \mathbf{e}_3 vectores tangente, normal y binormal que forman un sistema ortonormal).

2. Fórmulas de Frenet-Serret

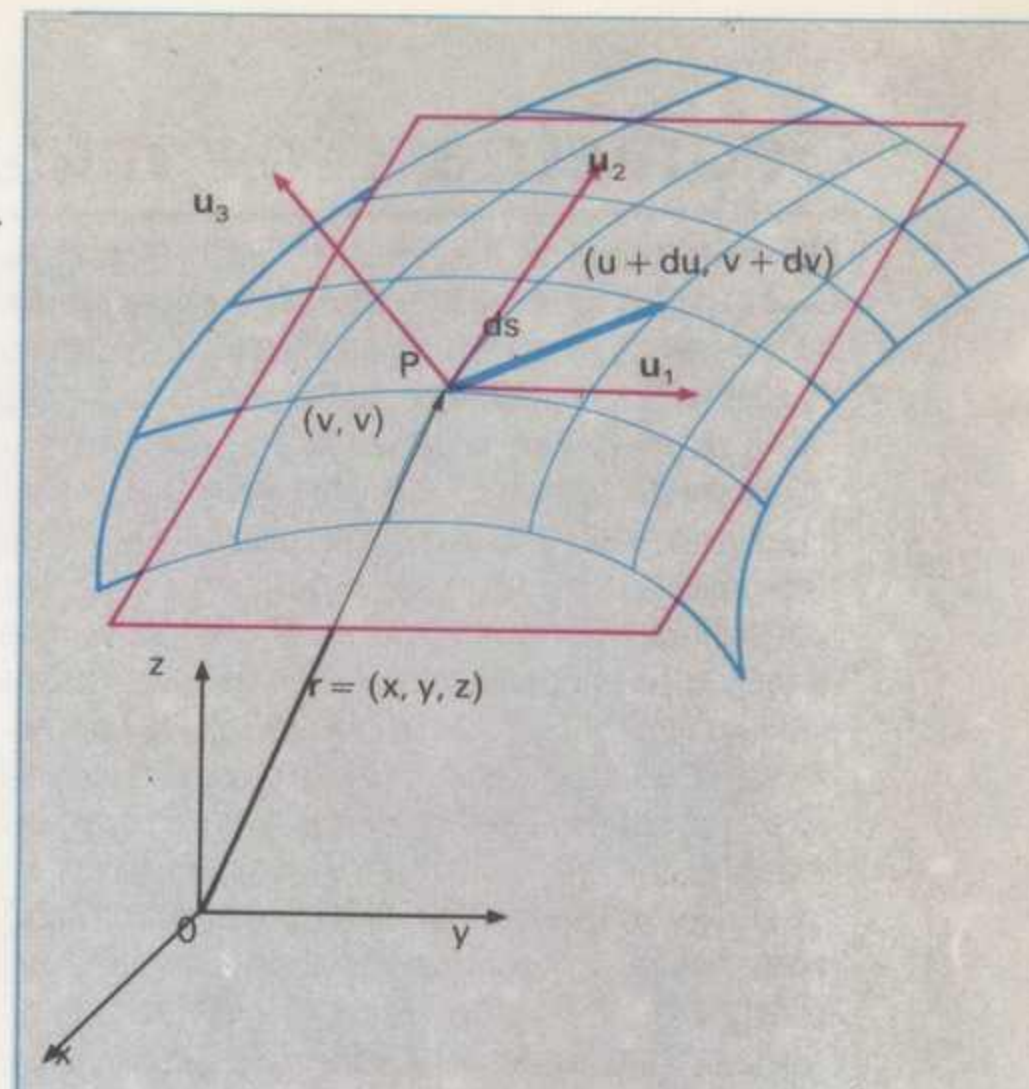
$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{e}_1}{ds} &= -\frac{1}{R} \mathbf{e}_2 \\ \frac{d\mathbf{e}_2}{ds} &= \frac{1}{R} \mathbf{e}_1 + \frac{1}{T} \mathbf{e}_3 \\ \frac{d\mathbf{e}_3}{ds} &= -\frac{1}{T} \mathbf{e}_2 \end{aligned}$$

3. Significación y expresiones clásicas de las curvaturas

$$\frac{1}{R} = \frac{d\varphi}{ds} = \sqrt{[x''(s)]^2 + [y''(s)]^2 + [z''(s)]^2}$$

$$\frac{1}{T} = \frac{d\theta}{ds} = R^2 \begin{vmatrix} x'(s) & y'(s) & z'(s) \\ x''(s) & y''(s) & z''(s) \\ x'''(s) & y'''(s) & z'''(s) \end{vmatrix}$$

NOTA.—El signo *prima* (') indica derivación respecto a s (longitud de curva). R y T son los radios de curvatura de flexión y torsión, respectivamente; φ es el ángulo de giro de las tangentes y θ el de las binormales.



Por un punto P , de una superficie se traza el plano tangente. Este coincide localmente con la superficie. El triedro \mathbf{u}_1 , \mathbf{u}_2 y \mathbf{u}_3 asociado a dicho punto es tal que los dos primeros vectores están en dicho plano tangente.

La distancia entre dos puntos próximos y la curvatura normal de una curva que pase por ellos pueden estudiarse mediante funciones que dependen sólo de las coordenadas sobre la superficie.

Geometría diferencial de variedades

Lo anterior es una pequeña muestra de los avances de la geometría diferencial en los tiempos de Gauss (1777-1855), tal como aparecen en su obra de 1827, *Disquisiciones generales circa superficies curvas*. Su discípulo y continuador, Riemann (1826-1866), en su lección inaugural de 1854, sentó las bases de la nueva geometría diferencial de variedades. De forma simple, Riemann pensaba en una variedad como conjunto de puntos dado cada uno por n coordenadas reales (x^i) y tal que, localmente, podía darse la distancia entre dos puntos próximos por una expresión del tipo

$$ds^2 = \sum_{i,j=1}^n g_{ij} dx^i dx^j$$

formando los g_{ij} una matriz cuadrada simétrica y definida positiva (o, simplemente, no singular), análogamente al caso de una superficie del espacio euclídeo ($g_{11}=E$, $g_{12}=g_{21}=F$ y $g_{22}=G$) y cumpliendo, consideradas como funciones de las coordenadas, condiciones de continuidad y derivabilidad, así como algunas restricciones entre sus derivadas.

Ello equivalía a suponer que localmente existía un *espacio tangente* (lo mismo que las superficies ordinarias tienen plano tangente) con un "comportamiento" euclídeo.

La moderna geometría diferencial es una rama avanzada y técnicamente sofisticada de la matemática actual (muy conectada con la Topología y el Análisis) que se basa en el estudio intrínseco de *variedades diferenciables*, que generalizan el concepto *riemanniano*.

Véase **Banda de Moebius y botella de Klein; Curvas y superficies; Derivada y diferencial; Formas cuadráticas, cónicas y cuádricas; Geometría analítica; Geometrías**

CUADRO II (Superficies)

1. Definición del triedro

$$\mathbf{u}_1 = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial u} \quad \mathbf{u}_2 = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial v} \quad \mathbf{u}_3 = \mathbf{n} = \frac{\mathbf{u}_1 \wedge \mathbf{u}_2}{\sqrt{EG - F^2}}$$

(\mathbf{u}_1 y \mathbf{u}_2 están en el plano tangente, $\mathbf{u}_3 = \mathbf{n}$ es el vector unitario normal)

2. Formas cuadráticas fundamentales

$$ds^2 = Edu^2 + 2Fdu dv + Gdv^2$$

$$\frac{1}{R_n} = \frac{Ldu^2 + 2Mdudv + Ndv^2}{Edu^2 + 2Fdu dv + Gdv^2}$$

$$E = \left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial u} \right)^2 \quad F = \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial u} \cdot \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial v} \quad G = \left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial v} \right)^2$$

$$L = \frac{(\mathbf{r}_{uu} \mathbf{r}_u \mathbf{r}_v)}{\sqrt{EG - F^2}} \quad M = \frac{(\mathbf{r}_{uv} \mathbf{r}_u \mathbf{r}_v)}{\sqrt{EG - F^2}} \quad N = \frac{(\mathbf{r}_{vv} \mathbf{r}_u \mathbf{r}_v)}{\sqrt{EG - F^2}}$$

donde se tiene

$$(\mathbf{r}_{uu} \mathbf{r}_u \mathbf{r}_v) = \begin{vmatrix} x_{uu} & y_{uu} & z_{uu} \\ x_u & y_u & z_u \\ x_v & y_v & z_v \end{vmatrix}$$

indicando los subíndices derivación respecto a la variable correspondiente; los otros productos ($\mathbf{r}_{uv} \mathbf{r}_u \mathbf{r}_v$) y ($\mathbf{r}_{vv} \mathbf{r}_u \mathbf{r}_v$) se construyen análogamente.

3. Curvaturas

Si $1/R$ y $1/T$ son las curvaturas de flexión y torsión de una curva trazada en la superficie y θ el ángulo que forma el vector normal de ésta con el de la normal principal a la curva, se definen:

$$\text{curvatura normal: } \frac{1}{R_n} = \frac{\cos \theta}{R} \quad \text{curvaturas principales (máx. y mín. de } 1/R_n \text{ al variar } du \text{ y } dv): \quad \frac{1}{R_1} \quad \text{y} \quad \frac{1}{R_2}$$

$$\text{curvatura geodésica: } \frac{1}{R_g} = \frac{\sin \theta}{R} \quad \text{curvatura total (o de Gauss): } \frac{1}{R_1 R_2}$$

$$\text{torsión geodésica: } \frac{1}{T_g} = \frac{1}{T} + \frac{d\theta}{ds} \quad \text{curvatura media: } \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Geometrías

La palabra de origen griego "geometría" significa literalmente *medida de la tierra*; lo que es equivalente a nuestra "agrimensura". La propia tradición —más o menos legendaria— pretende que la geometría nació en Egipto, ante la necesidad de medir las parcelas tras los desbordamientos del Nilo. El primer historiador griego de la matemática, y discípulo de Aristóteles, Eudemo de Rodas (ca. 300 a. de C.) en un libro hoy perdido —pero resumido en el siglo V de nuestra era por el neoplatónico Proclo, en sus *Comentarios a los Elementos* de Euclides— recoge dicha leyenda. Por cierto, que resulta curioso que Proclo, pensador idealista como buen seguidor de Platón que era, no sólo mantuviera dicha teoría sobre el origen de la geometría, sino que la acompañase del comentario, digno de un partidario de la interpretación económica de la historia, de que "no debe, pues, extrañar que la invención de ésta y otras ciencias haya sido provocada por el interés".

No hay que culpar del todo a los primeros historiadores de la matemática por tan simple versión del nacimiento de la geometría por dos razones. La primera, porque seguían la opinión expresada antes por Herodoto, padre de la Historia (484-425 a. de C.), quien daba una parecida y opinaba que la geometría había nacido así en Egipto y luego había sido exportada a Grecia, por obra de pensadores como Tales de Mileto. La segunda razón es que, evidentemente, los orígenes de la geometría fueron en todas las culturas empíricas y ligados a las necesidades prácticas de medir o comparar longitudes, áreas y capacidades, reproducir formas de objetos utilitarios, construir, etc. Aún hoy hay una geometría, la que se aplica en los talleres y en los campos, la que está en la base de los cálculos y proyectos de arquitectos e ingenieros que, salvando las distancias, tiene un cierto sabor a conocimiento empírico y pragmático.

Sin embargo, si se echa un vistazo a un libro moderno de geometría puede sentirse, si no se está iniciado, la sensación de que en él se trata de espacios abstractos con propiedades irreales, que no parecen estar sometidas a otra ley que la de la no contradicción lógica, y que, por el contrario, no se encuentra en él nada que tenga que ver con la idea popular de que la geometría es la ciencia del espacio *real* y dice cosas interesantes y prácticas sobre el mismo.

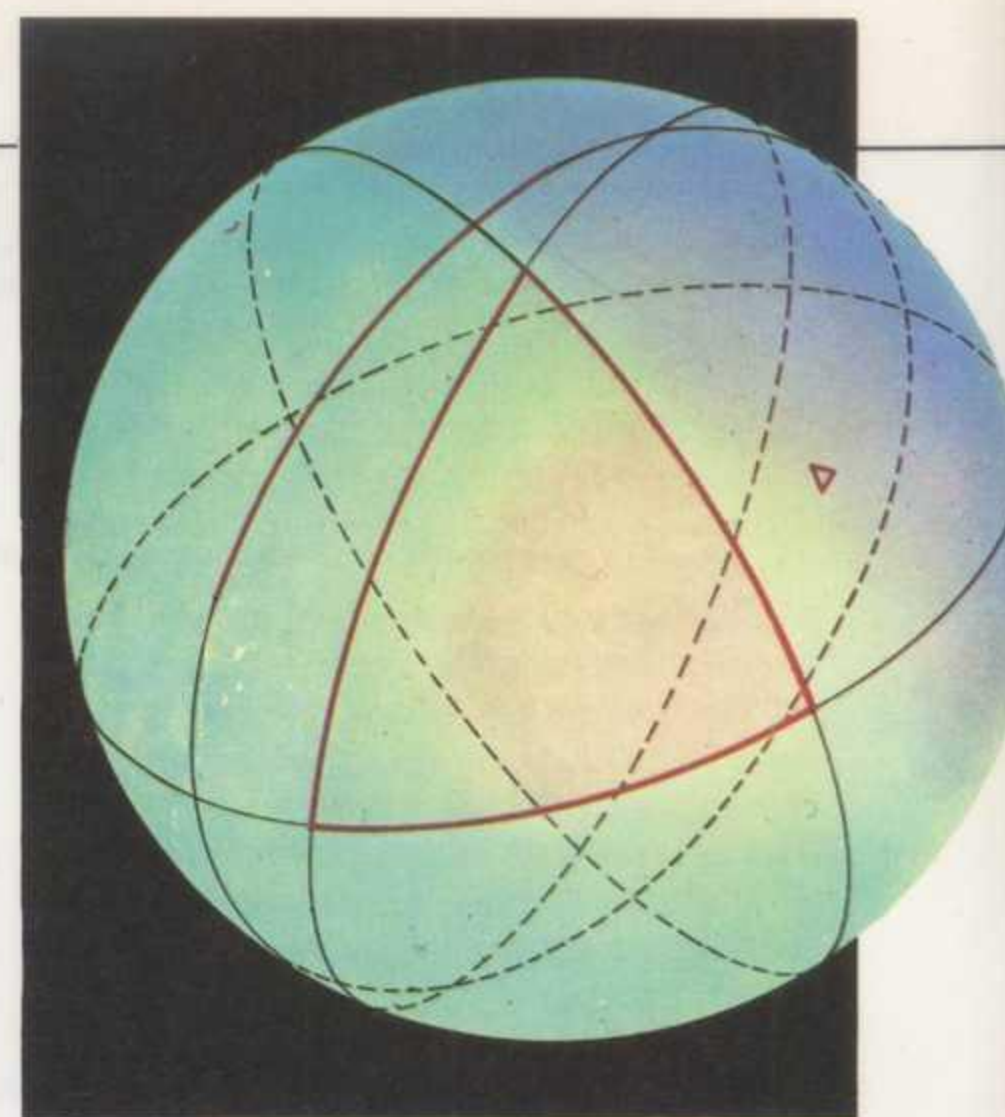
Un salto cualitativo Fue precisamente en Grecia donde nació la geometría como ciencia matemática, fundamentalmente abstracta en su contenido y deductiva en su método, sin perjuicio de sus aplicaciones prácticas. El propio Euclides (ca. 300 a. de C.), autor de los *Elementos*, huye en su obra de la palabra "geometría" (sin duda por su significación concreta de agrimensura) y construye en él un sistema lógico-deductivo que, partiendo de una serie de *axiomas* (verdades evidentes de carácter lógico general) y de pos-

tulados (verdades evidentes sobre los entes geométricos), que hoy llamaríamos también *axiomas*, obtiene la mayor parte de los resultados de la geometría elemental —por eso llamada euclídea— tal como se estudian aún hoy.

Al propio Euclides no se le atribuye casi ninguno de los resultados que recoge en su libro. Sin embargo su papel en la historia del pensamiento resulta absolutamente fundamental: dar la primera formulación propiamente matemática, es decir abstracta y lógica, de la geometría. Los resultados particulares de los *Elementos* habían sido, por otra parte, elaborados en los siglos anteriores por numerosos geómetras griegos, como Tales de Mileto (640-546 a. de C.), uno de los siete sabios e iniciador de la geometría en Grecia, o de Pitágoras (siglo VI a. de C.) y su escuela. Pocas décadas después de Euclides vieron las creaciones geniales de Arquímedes (187-212) y Apolonio (ca. 200 a. de Cristo).

Cabe, de todos modos, preguntarse cómo los griegos fueron capaces de pasar de una geometría empírica a una geometría matemática. El fenómeno es, sin duda, complejo, apasionante y difícil de explicar; sin embargo se dan en la sociedad y cultura griegas condiciones que lo posibilitan. Por ejemplo, en cuanto a la estructura económica y social; en Grecia el trabajo manual es desempeñado por los esclavos mientras los hombres libres (de cierta posición) pueden dedicarse al ocio, al placer, a la política y al pensamiento; junto al esclavismo, también practicado en otras sociedades antiguas, habría que señalar la peculiar organización política griega en ciudades-estado independientes, con nivel de libertad y democracia avanzadas para la época, y con intensas relaciones comerciales, culturales y de todo tipo entre ellas. En tales circunstancias no sólo se ve favorecida extraordinariamente la posibilidad de dedicar una minoría social al cultivo del pensamiento, sino que éste se ve como un don del espíritu, alejado de la realidad material y de las necesidades de la vida práctica. En segundo término, y seguramente en conexión con lo anterior, la filosofía griega, en sus versiones "idealistas" extremas o moderadas (las de Platón y Aristóteles, por ejemplo) y por razones diversas en unas y otras, profesaba la creencia de que existía una correspondencia entre la realidad y el pensamiento. Por ello nada más razonable que construir un sistema formal que, a partir de verdades autoevidentes (de base empírica), dedujese todas las demás, no evidentes, por medio del razonamiento lógico-deductivo.

El desarrollo posterior de la geometría Las sociedades primitivas y las grandes civilizaciones tuvieron ya importantes conocimientos geométricos. Sobre todo en Babilonia, Egipto, India y en el Extremo Oriente se encuentran avanzados resultados sobre áreas y volúmenes, el número π , etc. Se trata, fundamentalmente, de



La geometría no-euclídea llamada *elíptica* (o de Riemann) admite un modelo muy sencillo: la superficie de una esfera. En ella las "rectas" son los círculos máximos. Por un punto exterior a uno de ellos no puede trazarse

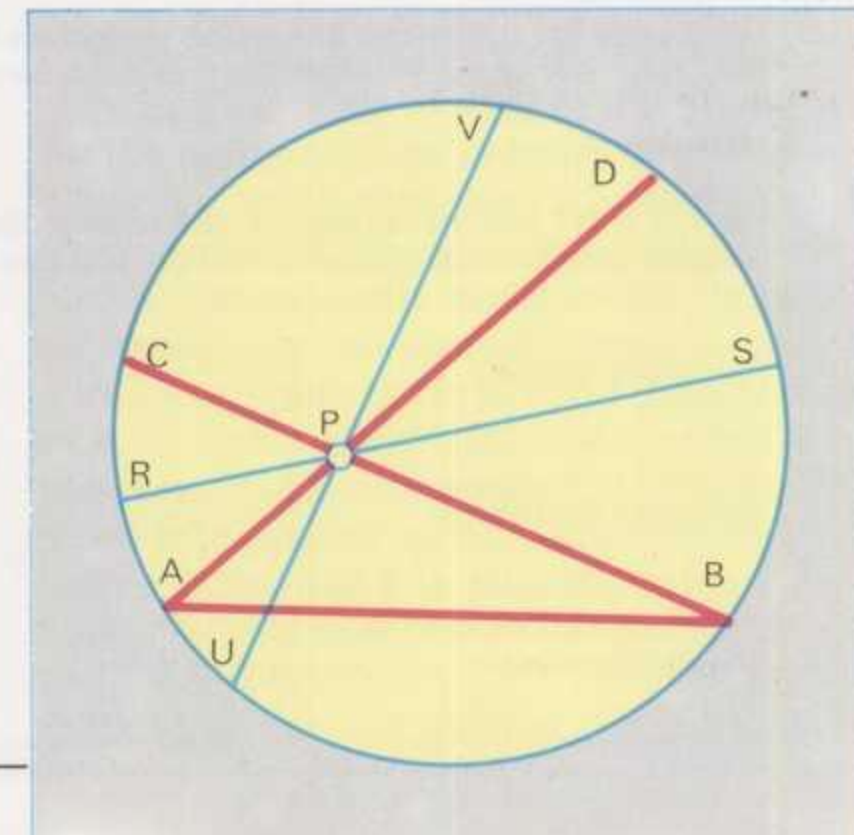
ningún otro que no le corte (precisamente los "paralelos" a un círculo máximo no lo son ellos). Por otra parte, los triángulos esféricos tienen una suma de ángulos interiores mayor de 180° .

un conocimiento empírico e intuitivo. Se procede, normalmente, por observación y generalización y, a veces, se obtienen intuitivamente reglas más o menos generales que tienen parecido con auténticos teoremas.

Luego, en Grecia, se produce el salto señalado y aparece la geometría en el sentido *moderno* del término. Tras un enorme apogeo, y una cierta decadencia en el período helenístico de la cultura clásica, se produce el oscurecimiento de la Edad Media, en la que, no obstante, se traduce, estudia, comenta y, en algunas ocasiones, se complementa el legado de los clásicos griegos. El mundo islámico y la Europa mediterránea son los elementos a

En la figura se representa el modelo de Klein para la geometría de Lobachevsky. Si al círculo (sin circunferencia) se le llama "plano" y a sus secantes (sin extremos) "rectas" resulta que, por un

punto P, exterior a la recta AB, pueden trazarse infinitas secantes a la misma (por ejemplo, UV) y no-secantes (por ejemplo, RS); unas y otras quedan separadas por las paralelas AD y BC.



través de los que se conserva y transmite el saber de aquéllos. La preferencia por la Aritmética y el Álgebra —con orígenes indios y árabes más que griegos— no contribuye, por otra parte, demasiado al cultivo de la geometría. Esta queda, por tanto, al nivel de los *Elementos* durante siglos; incluso los geniales resultados de Arquímedes, precursor entre otras cosas del Cálculo Integral, con su método de exhaustión para el cálculo de áreas y volúmenes, quedan durante poco menos de dos milenios sin continuación.

Se puede decir que hasta el siglo XVII no se producen adelantos verdaderamente significativos. En éste se dan las obras de Descartes (1596-1650) y de Desargues (1593-1661). El primero con su *Géométrie* da el paso definitivo en la creación de la Geometría analítica, ya preludiada por autores medievales como Oresme y cultivada simultáneamente por el gran Fermat (1601-1665). El segundo, casi desconocido en su tiempo (salvo por su gran discípulo y continuador, Pascal) crea la Geometría proyectiva, entrevista, en cierto modo, por algunos griegos como Pappus y Menelao e implícita en geómetras y artistas medievales y renacentistas que, con sus trabajos sobre perspectiva, se adelantan a las geometrías *proyectiva* y *descriptiva* (dedicada ésta a la representación plana de figuras espaciales y formulada por Monge (1746-1818) siglos más tarde).

El siguiente proceso importante en el desarrollo de la geometría se da con la aplicación a la misma del Cálculo (cuyo propio nacimiento debía mucho a la geometría analítica). Aproximadamente desde mediados del siglo XVII hasta 1800 analistas como Newton, Leibniz, los Bernoulli, Euler, Lagrange, etc. tratan problemas geométricos con técnicas analíticas, dando origen a la geometría diferencial clásica.

Por último, en el siglo XIX se producen insospechados avances con la aparición de las geometrías no-euclídeas, los nuevos desarrollos de la geometría diferencial, la consolidación de las geometrías proyectiva y descriptiva, etc. Dichos avances, se continúan en el siglo XX con grandes novedades (la geometría diferencial moderna, la topología, los espacios abstractos, etc.).

¿Qué es la geometría? La palabra "geometría" se usa hoy con varias acepciones. Para el común de las gentes es, simplemente, la ciencia (más o menos empírica, más o menos matemática) del espacio. Para los más enterados, incluidos los matemáticos cuando no manejan su jerga técnica, "geometría" es el nombre común de un conjunto de disciplinas matemáticas dedicadas al estudio de las propiedades (calificadas de "geométricas") que tienen diversos conjuntos que, por tradición o conveniencia, se denominan "espacios". Las geometrías euclídea y no-euclídeas clásicas, la geometría proyectiva, las geometrías de diferentes variedades *riemannianas*, etc. serían extensísimos

capítulos del gran libro de la geometría entendida en ese sentido extensivo.

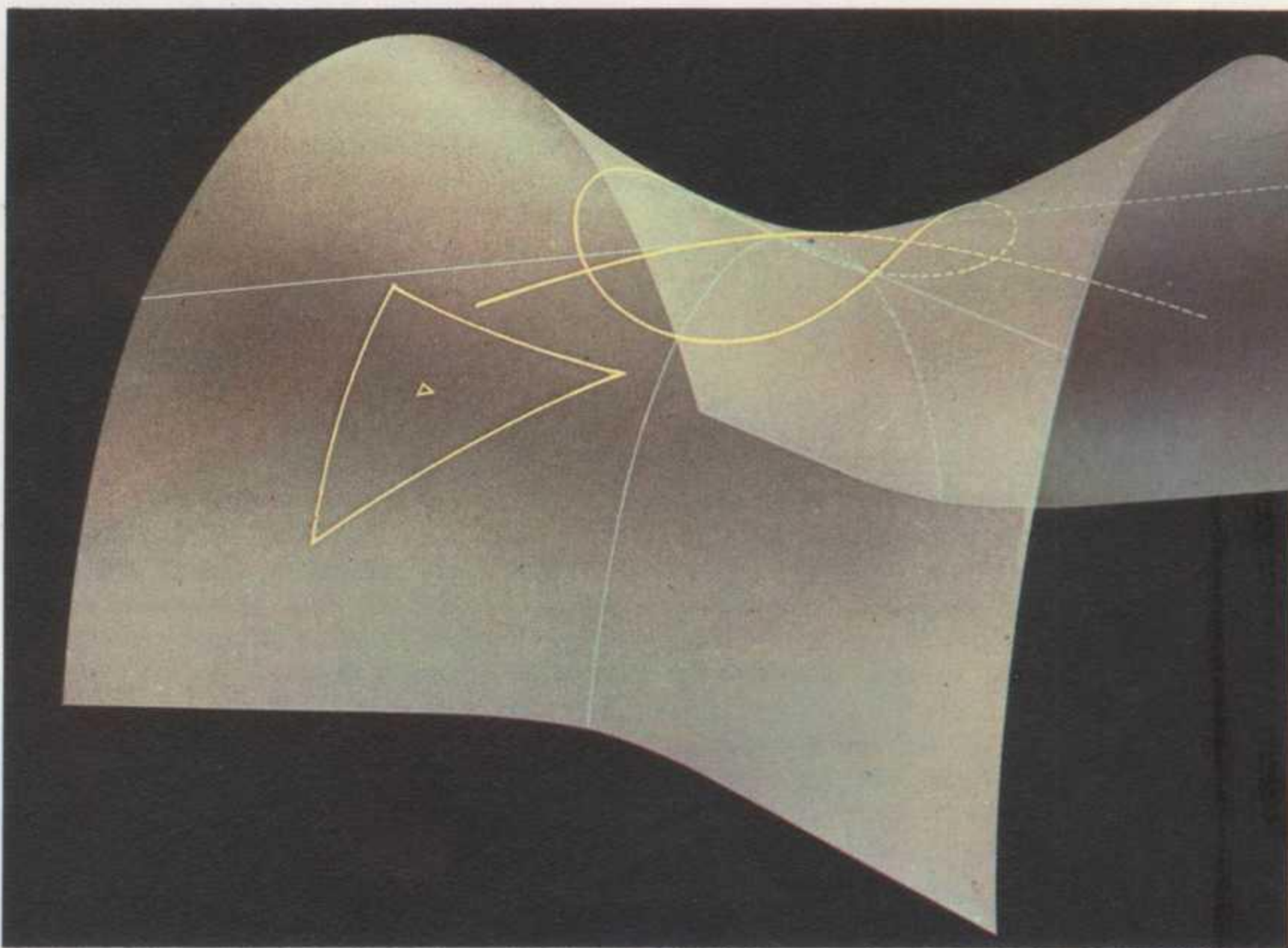
Aún cabe una tercera acepción, ésta sí técnica, del término "geometría". Se dice, de un modo simple, que una "geometría" es el estudio de las propiedades invariantes de un espacio bajo el grupo de sus automorfismos; en esta definición su autor, Klein, pretendió englobar todas las geometrías posibles. De hecho, y a pesar de la generalidad de la misma, no entraban ya en ella, cuando se hizo en 1872, las geometrías de Riemann definidas antes por éste.

Pero, en realidad ¿qué pretendía Klein con la citada definición y con todo el *Programa de Erlangen* (1872) en la que se encuentra? La geometría anterior a los griegos era empírica, Euclides en sus *Elementos* la establece como ciencia lógico-deductiva del espacio, en el siglo XIX se des-

nas) y de algunos otros más, la idea del programa de Erlangen ha perdurado medio siglo y aún hoy se usa su definición. A lo largo de la primera mitad del siglo XX el principio unificador se ha buscado por otros caminos. El primero, muy próximo al de Klein, es el de sustituir los grupos por *pseudo-grupos* de transformaciones (que sólo operan en subconjuntos de los espacios). Ya mediado el siglo XX, nacido de la conjunción de métodos topológicos con los de geometría diferencial, el concepto de *espacio fibrado* ha sido útil como elemento unificador.

Las geometrías "elementales" Examinemos brevemente el panorama actual de las geometrías.

En primer lugar es necesario citar la geometría métrica euclídea. Esta es una construcción lógico-deductiva elaborada



En la figura se muestra un modelo de geometría no-euclídea hiperbólica (la superficie se asemeja localmente a un hiperboloide o a un paraboloides

hiperbólico). En tal superficie, mejor dicho, en la porción de la misma próxima a uno de los puntos llamados *hiperbólicos* (que son aquellos

en los que el plano tangente deja partes de la superficie a uno y otro lado porque ésta tiene forma como de "silla de montar"), existen,

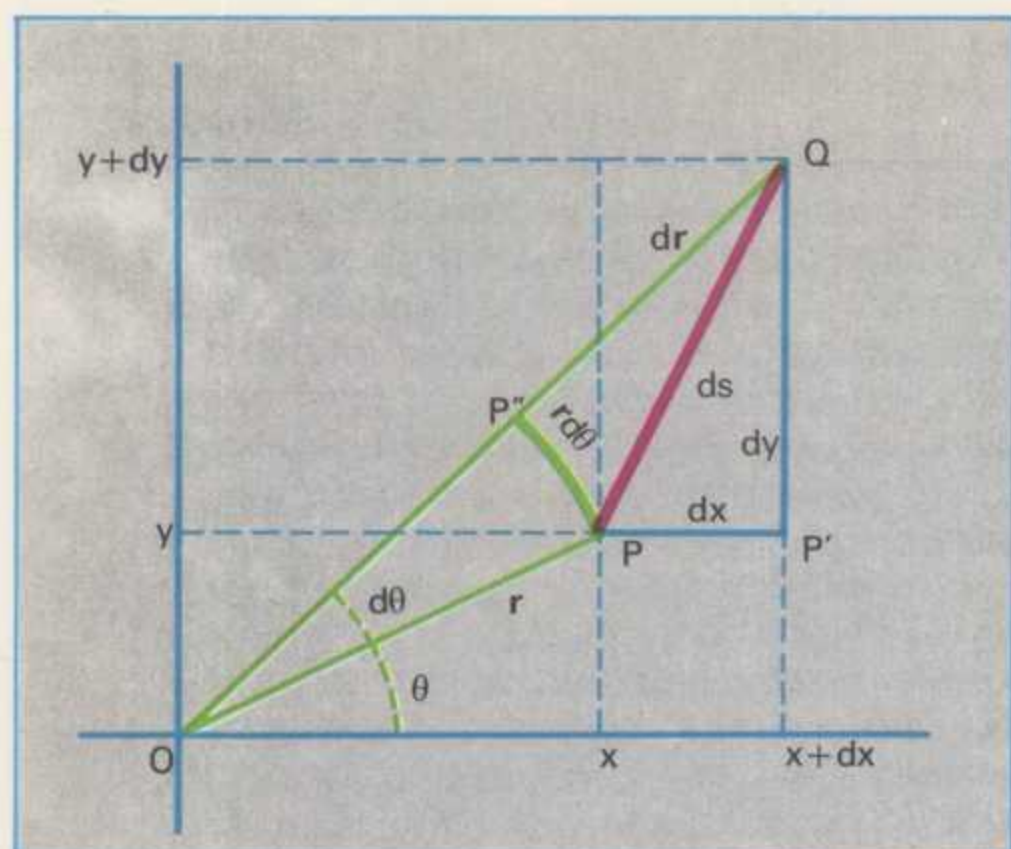
por un punto exterior a una "recta" infinita no secantes, y los triángulos tienen como suma de ángulos interiores una cantidad inferior a 180° .

cubre que la euclídea no es la única de las geometrías posibles y se necesita sistematizar el conjunto. Klein recurre al concepto de grupo de automorfismos (con terminología actual), es decir, a las transformaciones de un determinado espacio en sí mismo, de tal modo que el producto, de transformaciones existe y es asociativo y tal que incluye a la transformación idéntica y a la inversa de cada una. Luego, define la *geometría* como el estudio de las propiedades invariantes bajo dicho grupo de transformaciones. Por ejemplo, la geometría euclídea sería el estudio del grupo de transformaciones que dejan constantes las longitudes.

Aparte del inconveniente antes señalado (no incluir las geometrías *riemannia-*

a partir de axiomas —primero por Euclides, modernamente por otros autores como Hilbert— que definen el llamado espacio euclídeo tridimensional. En sus versiones más simples coincide con la geometría del plano y del espacio que se estudia en los cursos elementales y tiene aplicaciones a importantes ramas de la ciencia (mecánica newtoniana, astronomía, etc.) y de la técnica (arquitectura, ingeniería, etc.), así como de multitud de actividades prácticas de la vida cotidiana.

Muy próximas a la geometría métrica euclídea están las llamadas geometrías métricas no-euclídeas clásicas. Se desarrollaron a lo largo del siglo XIX, tras reconocer la imposibilidad de probar, después de centurias de infructuosos inten-



Si en el plano euclídeo se usan coordenadas rectangulares, la distancia entre dos puntos próximos, P y Q, se deduce del teorema de Pitágoras y cumple $ds^2 = dx^2 + dy^2$.

También puede ponerse, si los puntos se refieren a un sistema de coordenadas polares, por aplicación del mismo teorema, como $ds^2 = dr^2 + r^2 d\theta^2$.

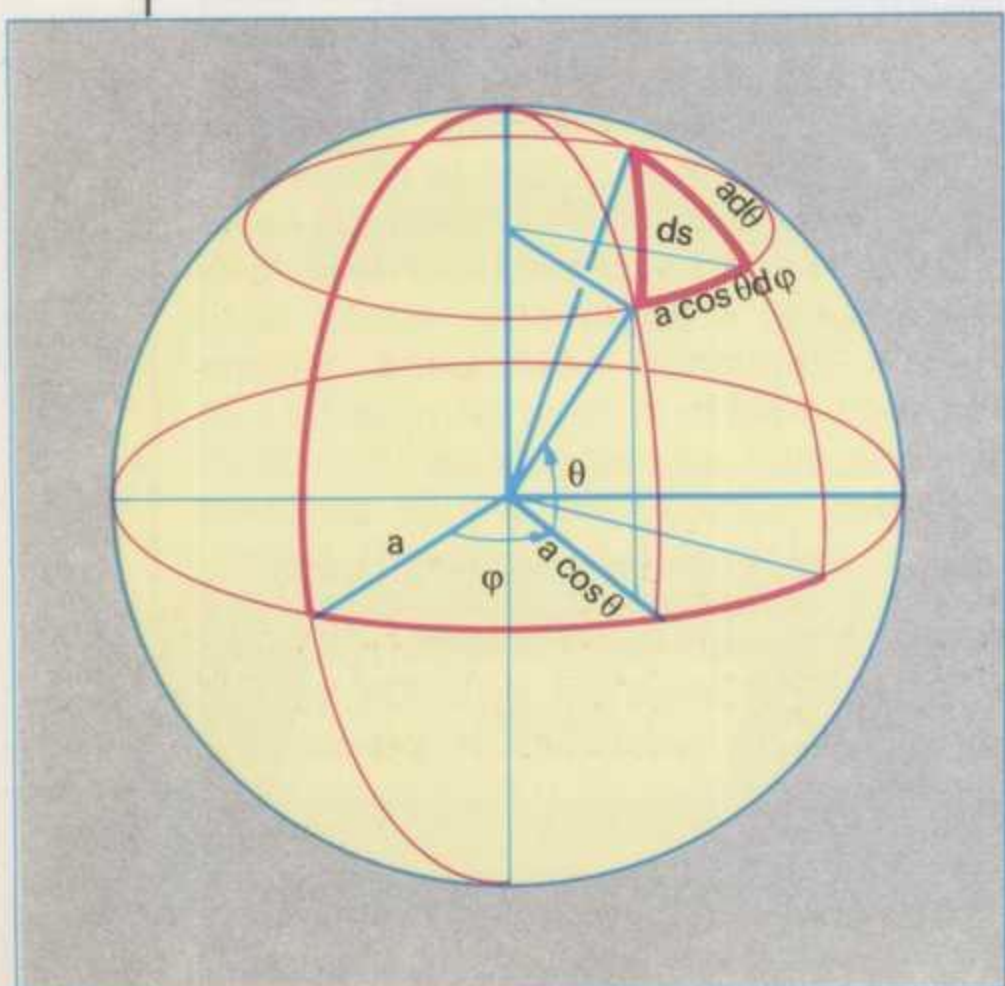
tos, el V postulado de Euclides (el que se refiere al trazado de una sola paralela a una recta del plano por un punto de éste exterior a aquélla) y conseguir demostrar que prescindiendo de él se podían establecer sistemas, quizá chocantes para la intuición, que estaban tan exentos de contradicción y, por tanto, eran tan válidos lógicamente, como el euclídeo. Tras el gran avance de Saccheri (1667-1733) sometiendo a un análisis profundo el axioma euclídeo, los trabajos de Gauss, Lobachevsky, Bolyai y, más tarde, Riemann, Poincaré, etc. establecen estas geometrías e, incluso, dan interpretaciones *euclídeas* de las mismas.

En este contexto se suelen llamar, siguiendo a Klein, geometrías elíptica (o de Riemann), parabólica (o de Euclides) e hiperbólica (o de Lobachevsky y Bolyai) a aquéllas en las que el axioma de las paralelas toma, respectivamente, las siguientes formas:

- No existe ninguna paralela a una recta que pase por un punto exterior a la misma.

Una superficie esférica es un ejemplo de *variedad riemanniana*. Cada punto puede darse por dos coordenadas (φ, θ) , longitud y latitud. En la figura se muestra, para el caso de

que la esfera tenga radio a , cómo la distancia entre dos puntos próximos de coordenadas (φ, θ) y $(\varphi + d\varphi, \theta + d\theta)$ cumple $ds^2 = a^2 d\theta^2 + a^2 \cos^2 \theta d\varphi^2$.



- Existe una sola paralela a una recta pasando por un punto exterior a la misma.

- Existen dos paralelas a una recta pasando por un punto exterior a la misma que son las rectas que separan a las infinitas secantes a la recta por ese punto de las infinitas no secantes (en algunas exposiciones se llama, simplemente, *paralelas*, a todas las no secantes y, en consecuencia, el enunciado se reduce a la afirmación de que existen infinitas de ellas).

Aparte de que puedan construirse sistemas lógicamente no contradictorios que cumplen dichos axiomas, cabe, también, dar interpretaciones intuitivas o, mejor dicho, euclídeas de la misma.

En efecto: la geometría usual de la superficie de una esfera, llamando "plano" a la misma, "puntos" a los de su superficie y "rectas" a los círculos máximos, proporciona un modelo de geometría elíptica. Un poco más sofisticadamente pueden conseguirse representaciones análogas para la geometría de Lobachevsky, por ejemplo la siguiente, debida a Klein. Llamemos "plano" al interior de un círculo (es decir, *sin* los puntos de la circunferencia), "puntos" a los puntos interiores del círculo, "recta" a las secantes del círculo (*sin* incluir los puntos de intersección con la circunferencia, por tanto ilimitadas); en este "espacio" se comprueba inmediatamente que por un punto exterior a una "recta" pasan infinitas "rectas" que no cortan a la primera y hay precisamente dos que separan las que cortan de las que no lo hacen, como indica la figura de la página anterior. Conviene señalar que, para esta geometría, es necesario utilizar definiciones peculiares de "desplazamiento", "distancia entre dos puntos", etc.

¿Caben otras posibilidades de extensión de la geometría? Evidentemente sí y en varias direcciones. En primer lugar la de prescindir de lo más característico de las geometrías métricas —euclídeas o no— es decir del concepto de distancia y, por consiguiente, considerar transformaciones entre las figuras más generales que las propias de aquéllas, que son las que dejan invariantes las "distancias". El caso más evidente es el de la *geometría proyectiva* creada por Poncelet (1788-1867). Sus orígenes remotos están en griegos como Menelao o Pappus y en el trabajo de artistas como Da Vinci y Durero; los más próximos en los de Desargues y Pascal. Son proyectivas las propiedades de una figura que permanecen invariantes al proyectar la misma. Por ejemplo, un triángulo situado en un plano, cuando se proyecta desde un punto exterior a dicho plano sobre otro, se transforma en un nuevo triángulo que conserva numerosas propiedades del primitivo; lo mismo sucede con una cónica que al proyectarse se transforma en otra (no necesariamente del mismo tipo).

Una geometría menos general que la proyectiva, pero más que la métrica, es la *afín*. Para caracterizarla de modo simple piénsese en el espacio puntual afín ligado al espacio vectorial \mathbb{R}^n con un sistema de

referencia (y sin haber definido en él ninguna distancia). Una transformación afín se define, simplemente, por la expresión.

$$y = Ax + b$$

siendo x e y los vectores de las coordenadas correspondientes a los puntos originales e imágenes, respectivamente, A una matriz cuadrada no singular y b un vector constante. Desplazamientos, giros, simetrías, semejanzas y afinidades (dilatación o contracción de las coordenadas de una dirección) son casos particulares de transformaciones *afines*.

Las geometrías "superiores" Una vez abierto el camino hacia la abstracción y admitidas las geometrías que no obedecían al paradigma euclídeo era fácil extender el panorama geométrico en múltiples direcciones. Una inmediata, efectuada con ayuda del recurso analítico, era el de las geometrías de espacios n -dimensionales. En efecto: espacio vectorial, espacio puntual afín, espacio proyectivo, espacios vectoriales y puntuales con normas y distancias euclídeas admiten tratamientos análogos para los casos de dimensiones 1, 2 y 3 (los que tienen contrapartida intuitiva) y para los de un número arbitrario de dimensiones. Se tienen, entonces, las correspondientes geometrías, sin más que extender los resultados, algebraicamente, a este último caso. Una vez que se ha iniciado este camino pueden complicarse las cosas de muchas maneras; por ejemplo, admitiendo espacios vectoriales complejos en vez de limitarse a los reales; por ejemplo, sustituyendo la norma y métrica euclídeas por otras distintas.

Cabe, incluso, seguir el camino descubierto por Riemann en 1854 al sintetizar genialmente tres corrientes: la de la existencia de geometrías *no-euclídeas*, la del manejo de espacios n -dimensionales y la del estudio intrínseco de curvas y superficies de la geometría diferencial. Un espacio de Riemann (o una variedad *riemanniana*) es, con terminología actual, una *variedad diferenciable* a la que localmente se le ha dado una métrica análoga a la euclídea; es decir que la distancia entre dos puntos de coordenadas (x^i) y $(x^i + dx^i)$ se puede poner como

$$ds^2 = \sum_{i,j=1}^n g_{ij} dx^i dx^j$$

donde los g_{ij} forman una matriz no singular (a veces se impone la condición incluso de que sea definida positiva). El espacio euclídeo sería, simplemente, un caso particular de los de Riemann; corresponderían al caso de que los g_{ij} constituyeran una matriz cuadrada definida positiva constante para todo el espacio y los x^i pudieran interpretarse como coordenadas cartesianas (contravariantes). Incluso puede suceder que, aunque los g_{ij} , no fueran constantes pero sí cumplieran ciertas condiciones, se tratara de un espacio euclídeo

en el que las coordenadas (x^i) fueran curvilíneas; baste pensar, por ejemplo, que en el plano euclídeo, cuando se toman las coordenadas polares, r , distancia al origen y θ , ángulo del radio vector con el eje polar, se tiene la métrica.

$$ds^2 = dr^2 + r^2 d\theta^2$$

A $ds^2 = \sum g_{ij} dx^i dx^j$ se le llama forma cuadrática fundamental de la variedad, y a los g_{ij} , *tensor métrico o fundamental*.

Cuando Riemann creó las geometrías que llevan su nombre el concepto de *variedad diferenciable* no estaba desarrollado; de hecho las curvas y superficies en el espacio euclídeo ordinario y los espacios *inventados* por Riemann son los primeros ejemplos de variedades. Como se sabe una variedad topológica n -dimensional es un espacio topológico tal que el entorno de cada punto es homeomorfo al interior de una esfera de \mathbb{R}^n y, además, cuando un punto que pertenece a dos de dichos entornos y le corresponden dos n -tuplas de \mathbb{R}^n como coordenadas en cada uno de los correspondientes homeomorfismos, el paso de unas a otras son también homeomorfismos. Cuando los mismos son funciones con derivadas parciales continuas hasta un cierto orden, se dice que la variedad es diferenciable. Las variedades *riemannianas* pueden representar espacios *reales* muy poco usuales. Por ejemplo el espacio de cuatro dimensiones de Minkowski, que se usa en la Teoría de la Relatividad; o, más clásico y sencillo, el espacio de las configuraciones de un sistema dinámico representado por n parámetros. Pero hay casos muy simples; se ha visto antes cómo el propio plano euclídeo en coordenadas polares era un caso trivial de variedad *riemanniana*. También lo es la superficie de una esfera del espacio euclídeo de radio a , cuando se toman longitud ϕ y latitud θ como coordenadas, para la que se tiene que

$$ds^2 = a^2 d\theta^2 + a^2 \cos^2 \theta d\phi^2$$

Evidentemente las geometrías de variedades diferenciales *no-riemannianas* o de variedades topológicas cualesquiera son también posibles. Otra extensión que cabe hacer es la de las geometrías de espacios con infinitas dimensiones. Por ejemplo, la geometría del espacio de Hilbert, que es la extensión más natural del euclídeo cuando se admiten componentes de los vectores complejos y el número de dimensiones es infinito.

La misma topología de un determinado espacio o de uno de sus subconjuntos puede, en cierto modo, considerarse, como una geometría generalizada, la que se refiere a las propiedades invariantes en los homeomorfismos que transforman dicho espacio (o uno de sus subconjuntos) en sí mismo. Precisamente se trataría, para un espacio dado, de la más general de las geometrías, por ejemplo, piénsese en el caso del espacio puntual ordinario en el que las transformaciones de las geome-



Nicholaus Ivanovich Lobachevsky (1793-1856) fue profesor y rector de la Universidad de Kazan. Su primer trabajo sobre una geometría no euclídea, de 1829, se perdió. Luego apareció, en 1836, otro en ruso,

apenas conocido, en el que se daba ya una teoría completa, del que se publicó un resumen en alemán en 1840. En 1855, casi ciego, dictó su *Pangeometría* (publicada en francés y ruso).

trías euclídea afín y proyectiva van dejando invariantes propiedades cada vez más generales; pues bien, la topología dejaría las que no cambian al hacer transformaciones biyectivas y bicontinuas (homeomorfismos).

La verdad es que el tratamiento de los espacios de dimensión infinita o, incluso, de espacios o variedades de dimensión finita definidas de forma abstracta, suele reservarse, de un modo convencional, a la Topología y el Análisis, eso sí, invadidos de términos, imágenes e interpretaciones geométricos, y limitar a la geometría como el campo de estudio de espacios de dimensión finita.

Geometría y realidad Filósofos de la Ciencia, psicólogos y matemáticos se han planteado continuamente, desde distintas perspectivas, el profundo problema de la correspondencia entre la realidad y los resultados que da la matemática y el, en cierto modo dependiente del anterior, de por qué es aplicable —con enorme éxito, por cierto— la matemática a la práctica. Y, también, el de qué mecanismos psicológicos (percepción, abstracción, etc.) conducen a la mente humana a los conceptos matemáticos. En el caso de la geometría tales problemas surgen de un modo inmediato e insoslayable.

A lo largo de su historia, al igual que lo sucedido con sus contenidos y métodos, se han dado respuestas diferentes a tales cuestiones. Idealistas o realistas, materia-

listas o espiritualistas, han discutido sobre el sentido y validez de los resultados geométricos. Durante siglos la opinión más generalizada era que la geometría euclídea daba una visión racional y lógica del espacio real. Suele sostenerse que Kant era de esta opinión, lo cual no es completamente exacto, aunque lo parezca. Kant en realidad decía que los juicios "a priori" de la geometría euclídea eran posibles porque la mente humana tenía un *molde euclídeo* (el paso siguiente, afirmar que ese molde se correspondía con la realidad, es una opinión metafísica que un filósofo crítico como Kant se reservaba).

La creencia en la validez absoluta de la geometría euclídea ha sido profunda a lo largo del tiempo. A las propias geometrías no-euclídeas se llegó al tratar de probar el V postulado por el método de negarle y en la convicción de que se llegaría así a una contradicción. El propio Gauss, que había llegado a resultados como los de Lobachevsky y Bolyai (cuando el padre de este último y amigo suyo se los comunicó, no mostró sorpresa por conocerlos de antemano), no se atrevió a publicarlos. Incluso se debe a Gauss un intento de comprobar experimentalmente el V postulado por el procedimiento de ver si en un triángulo de grandes dimensiones sumaban sus tres ángulos 180° ; el experimento falló porque los errores de medida son de un orden mayor que el de las diferencias que las geometrías euclídea y no-euclídeas muestran entre sí.

Hoy, dejando de lado la cuestión de cómo sea el espacio real (problema fundamental para la filosofía y las ciencias físicas) y de qué manera la mente humana abstraer los conceptos geométricos a partir de su percepción del espacio (problema de la psicología), es indiscutible que lo que proporciona la geometría es un repertorio de teorías sobre distintos modelos de espacios.

Dichas teorías se construyen de un modo lógico-formal y, por otra parte, ofrecen la posibilidad de dar interpretaciones del mundo real y de ser aplicables en la práctica. Así, la geometría del espacio euclídeo lo sería al caso del mundo sensible inmediato, mientras la de las variedades *riemannianas* al de las configuraciones de un sistema dinámico o al tiempo-espacio de Einstein. Precisamente una cita de este último científico y otra de Poincaré, reproducidas con cierta libertad, pueden resumir la cuestión. Decía Einstein que la geometría es "una ciencia que cuando se refiere a la realidad no es segura, y cuando es segura no se refiere a la realidad" y, por su parte, afirmaba Poincaré "no hay geometrías más verdaderas que otras sino más convenientes".

Véase **Área y volumen; Curvas y superficies; Espacio euclídeo; Espacio matemático; Espacios métricos y topológicos; Espacios vectoriales y afines; Estructura matemática; Formas cuadráticas, cónicas y cuádricas; Geometría analítica; Geometría diferencial; Grupos, anillos y cuerpos; Método axiomático; Polígonos y poliedros; Topología; Trigonometría**

Geomorfología

A principios del siglo XIX los poetas y los pintores empezaron a expresar en su arte la apreciación de las formas naturales del terreno. De este modo de acercarse a ellas se pasó, a finales del siglo pasado y comienzos del presente, a una catalogación sistemática de las formas del terreno, que como tal se efectuó en el marco de la Geografía física, denominación vigente todavía para su estudio en la Europa actual. Sin embargo, en Estados Unidos esta nueva ciencia fue llamada primeramente *Fisiografía* y poco después *Geomorfología*, que significa simplemente "estudio de la génesis de las formas del terreno". La Geomorfología se encuadraba por lo tanto en la Geología. Hacia el final del siglo pasado, William Morris Davis, profesor de Geología de Harvard, desarrolló los primeros axiomas y principios de esta nueva ciencia. Davis afirmaba que cada forma del relieve podía ser estudiada considerando tres factores: el proceso mediante el cual dicha forma se ha desarrollado, su estructura y su fase de desarrollo. Desde un punto de vista más moderno, el criterio estructural o descriptivo es prioritario en el análisis.

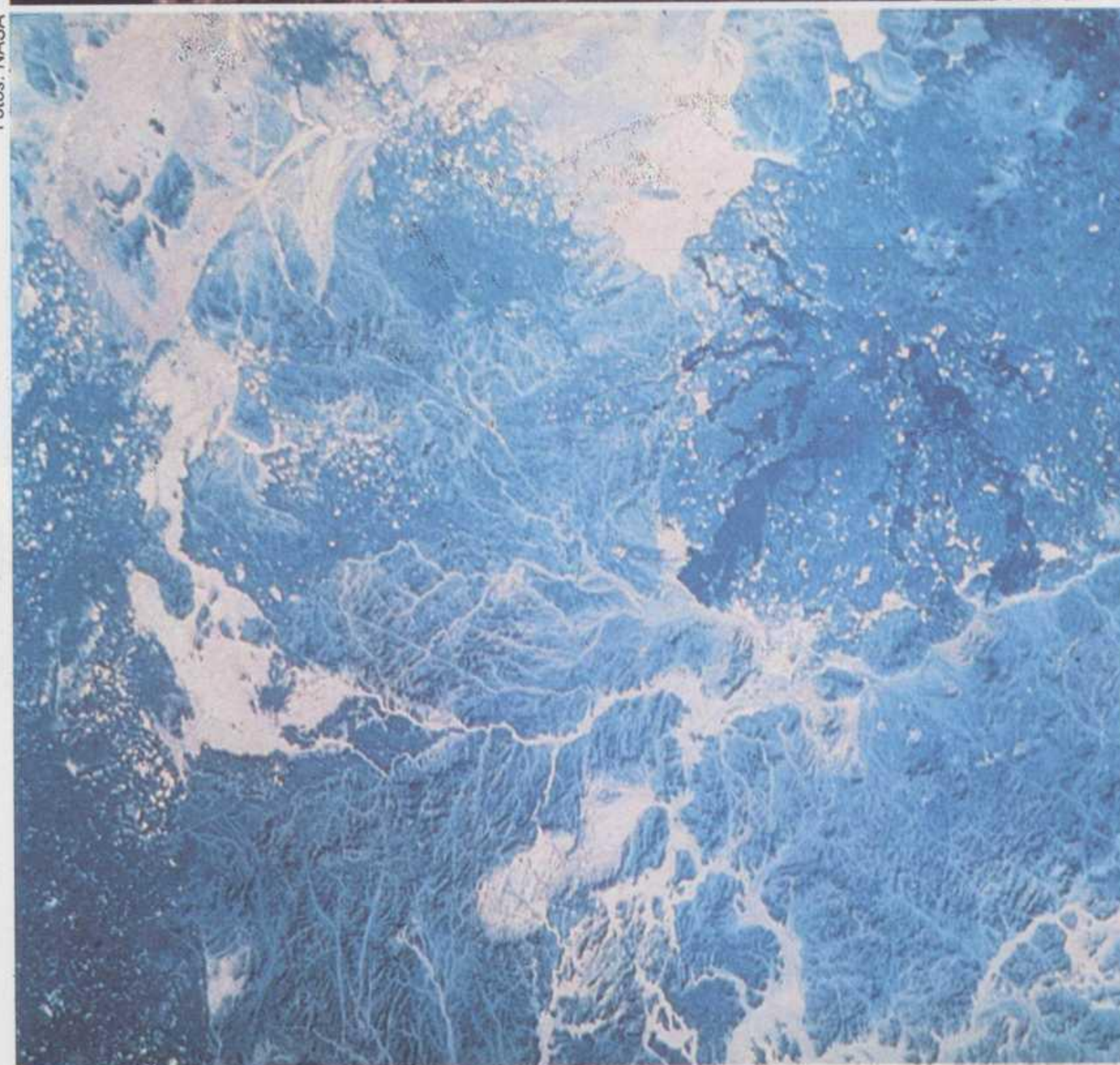
Estructura-proceso-fase La estructura, según Davis, es tanto el material de que está constituida como la organización geométrica de la forma del terreno. Incluye, pues, la naturaleza de la roca —si es dura o blanda, si es fácilmente disgregable por las sustancias químicas en disolución, o es fácilmente erosionable y esculpible por la acción mecánica—, su estructura —si está plegada o fracturada—, su forma y sus dimensiones reales. La medida de las estructuras de las formas terrestres es la base del trabajo de campo de los geólogos.

Los límites y la configuración de una forma del relieve se pueden identificar esencialmente empleando un mapa topográfico. Una mayor exactitud en la apreciación se logra utilizando, por ejemplo, una brújula con clisímetro o un nivel de anteojo para determinar exactamente las pendientes de la superficie. Las formas del relieve se pueden representar a su vez en un mapa geomorfológico, indicando todos los rasgos según unas claves internacionalmente aceptadas. El mapa puede perfeccionarse añadiendo perfiles, como la sección de una colina, de una montaña o de una llanura, o dibujando el perfil longitudinal de un río (poniendo de manifiesto los cambios bruscos de pendiente, los rápidos y las cascadas). Asimismo se puede añadir en el mapa información litológica sobre las características de los suelos y las rocas en diferentes puntos, obtenida a partir de estudios en laboratorio.

El siguiente paso es la determinación del proceso de formación. Davis tendía a simplificar excesivamente este aspecto, pensando que bastaba, por ejemplo, con saber si el clima era húmedo o árido para poder deducir el proceso mediante el cual se había generado una determinada forma del relieve: disgregación atmosférica.



Fotos: NASA



En la página anterior, arriba, frontera entre Cachemira y China. Por el valle oscuro transcurre el río Indo, del que pueden verse

sus afluentes; entre ellos el Nubra, que discurre desde arriba hacia el centro, alimentado por un glaciar. En la misma

página, abajo, parte occidental de la península Arábiga; la red hidrográfica es perfectamente visible, aunque no discurre ni

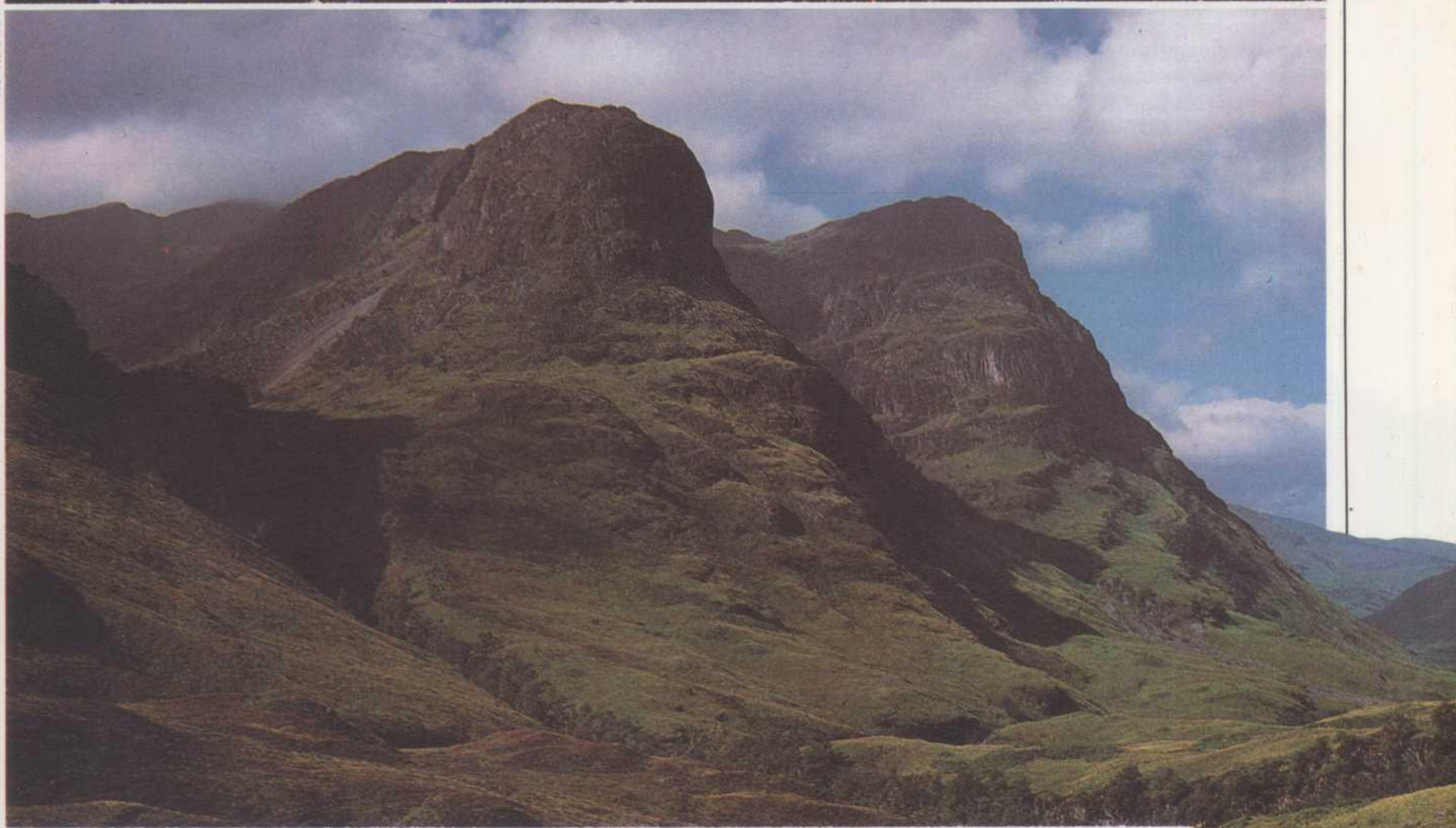
una sola gota de agua. Es el Wadi al Hamd. Entre estas formas de erosión resalta un conjunto volcánico erosionado, el Harrat

Rahat. En esta página, arriba, relieve de los Apalaches (EE UU): aquí la erosión ha esculpido lagos, valles y suaves pendientes.

Abajo, morfología de la vieja Escocia, modelada por las aguas tras una actividad glacial intensa y profunda.



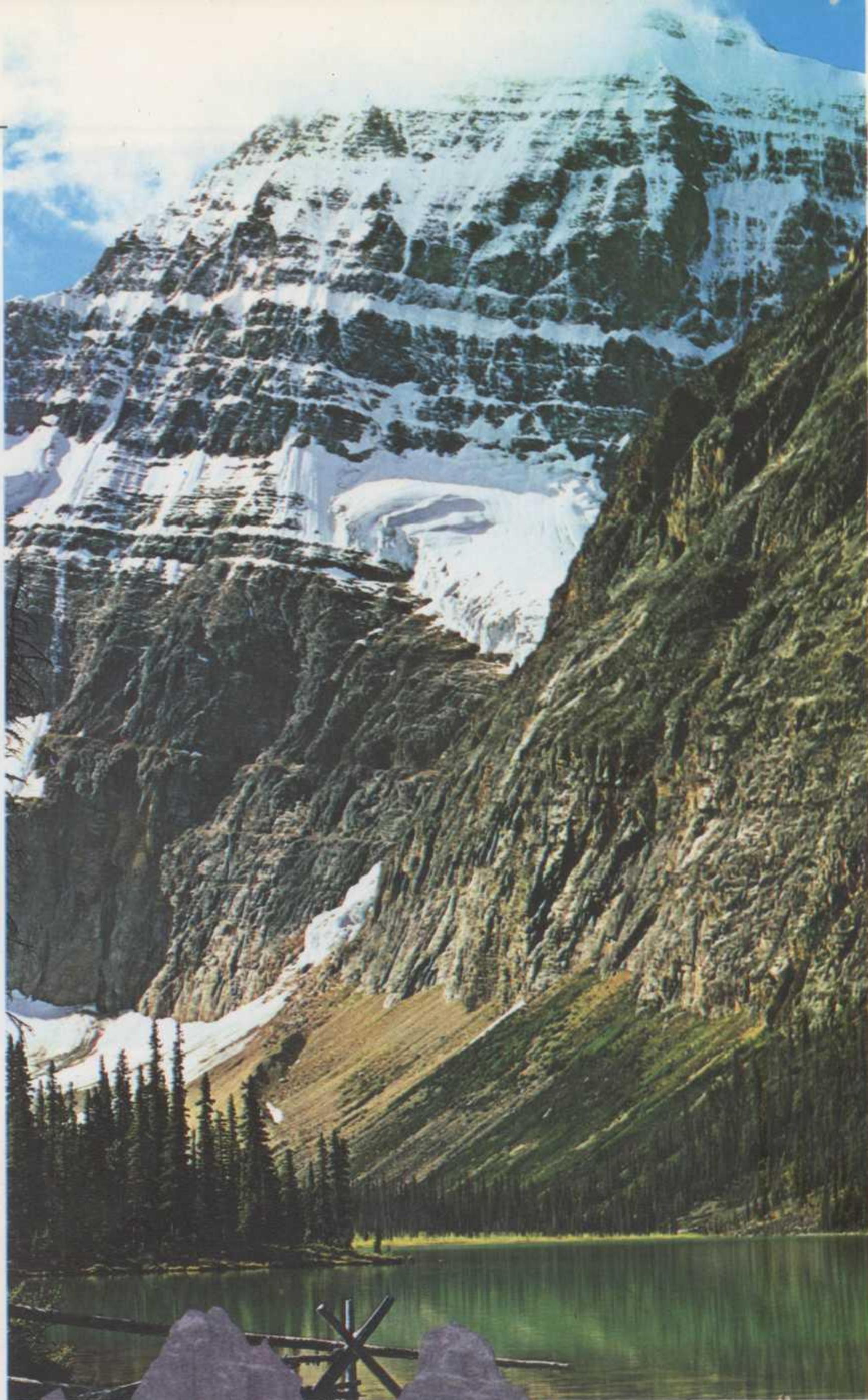
Fotos: MARKA



ca, erosión o depósito. De hecho, en este aspecto se equivocaba. Estudios posteriores han demostrado que esos procesos son enormemente complejos. Deben ser medidos hasta sus últimos detalles, ya que continúan siendo activos en la actualidad. Es necesario también estudiar la historia del paisaje, ya que muchas formas del relieve se crearon bajo condiciones climáticas totalmente diferentes a las actuales (por ejemplo, durante los episodios glaciales cuaternarios). Así pues, muchas formas del terreno son el resultado de procesos ambientales hoy en día desaparecidos. Una forma del terreno antigua puede ser una colina erosionada por los hielos, que fue esculpida, por ejemplo, en un período glacial que tuvo lugar hace aproximadamente 450 millones de años, sepultada seguidamente por sedimentos posteriores, y que ha vuelto a ser expuesta por la erosión reciente; se trata de una forma del terreno exhumada, que ha "emergido" después de haber estado enterrada durante millones de años.

El tercero de los principios davisianos se refiere a la fase de evolución del relieve. Davis afirmaba que cualquier estructura geomorfológica se podía clasificar inmediatamente en una de las tres categorías siguientes: "juventud", "madurez" o "senilidad". Se trata, ciertamente, de una técnica muy útil.

Considérese, por ejemplo, una cadena montañosa. Cuando emerge del mar por acción de las fuerzas orogénicas (durante la colisión de las placas tectónicas a causa de la deriva continental), lo hace de forma relativamente rápida, alcanzando así grandes altitudes en un período breve dentro del tiempo geológico. La erosión ataca intensamente los materiales a medida que emergen, excavando profundos valles que separan montañas escarpadas, a veces con formas de aguja. Esta es la fase de juventud. A lo largo del tiempo las formas van siendo progresivamente destruidas por la erosión, perdiendo angulosidad y reduciéndose en altura. Es la fase de madurez. El proceso culmina finalmente con el arrasamiento casi total del relieve, que se convierte en penillanura en la fase de senilidad.



Veamos ahora el caso de los ríos. El turbulento torrente de montaña que se precipita por una garganta en forma de V es, evidentemente, juvenil. El imponente curso de agua que forma meandros alrededor de colinas de formas redondeadas es un río maduro. Y, finalmente, el río cargado de limo que discurre a través de una suave llanura está claramente en su fase de vejez.

La división de las fases del relieve en juventud, madurez y vejez es una simplificación muy útil. La realidad, sin embargo, demuestra ser mucho más compleja. Es bastante fácil apreciar los procesos contemporáneos, pero es necesario un estudio completo de la historia geológica de una región para asegurarse de que el proceso en curso hoy día es efectivamente el responsable de las formas observadas. Con frecuencia los geólogos descubren que el proceso que parece "obvio" resulta ser erróneo, lo que hace de la Geomorfología una ciencia viva.

Ciclos Otro tema predilecto del profesor Davis era la idea de los ciclos. En la historia de la Tierra hay ciclos de todo tipo, desde el ciclo anual de 12 meses al ciclo de las manchas solares de 11 meses, el ciclo orbital (glacial) de 93.000 años, y el de la tectónica de placas de 30 a 100 millones de años.

Evidentemente, al ser una cadena montañosa el resultado de la colisión entre dos placas litosféricas, y de una rápida elevación concomitante de la zona comprimida,

la erosión acompañará al proceso, creándose en poco tiempo un relieve joven de configuración montañosa. Gradualmente éste se irá erosionando y perdiendo altura en la fase de madurez y llegará, en la fase de vejez a ser una llanura casi plana. Esta etapa fue denominada por Davis *penillanura* ("casi plano"), siendo la fase final de un ciclo principal. El siguiente paso sería otra nueva elevación, y de este modo se irían sucediendo los ciclos. Esto, sin embargo, no es exactamente así. Es posible que el ciclo orogénico siguiente comience en otra zona distinta, iniciándose de nuevo la deriva de la corteza terrestre, la expansión del fondo oceánico, la sedimentación y otros procesos. Así, aunque en principio su idea sea correcta, su simplicidad puede inducir a error.

Una característica interesante de la fase de madurez del ciclo de formación de las montañas es el fenómeno isostático. Cuando la acción de la erosión descarga la superficie terrestre, la corteza se eleva, ya que el manto infrayacente se comporta como un fluido viscoso en equilibrio hidrostático inestable, que se expande lentamente (en el curso de muchos millones de años) al verse liberado de la carga que apoyaba sobre él. Así, la penillanura que se formó en la América nororiental a raíz de los últimos movimientos debidos a la tectónica de placas que afectaron a la región (hace unos 180 millones de años) tiene una edad de unos 100 millones de años. Sin embargo, la acumulación continuada de sedimentos en la plataforma continental atlántica adyacente fue provocando posteriormente el gradual levantamiento de la zona, dando lugar a los que hoy en día se conocen como montes Apalaches. Estos, con alturas máximas que no superan los 300-900 metros, son completamente distintos a las montañas originarias producto de la colisión continental, que serían comparables a los Alpes o al Himalaya. Sus cumbres planas son los restos de la antigua penillanura disecada por los valles recientes. En algunos puntos se encuentran incluso restos del suelo tropical precedente, que se desarrolló sobre aquella antiquísima superficie en el marco de unas condiciones climáticas muy distintas de las actuales.

Sin embargo, el levantamiento isostático puede tener un origen totalmente diverso. Por ejemplo, la península Escandinava, en Europa, está en proceso de levantamiento, debido a que en un pasado

reciente, durante la última glaciación, estuvo sometida a la presión de un casquete glaciar de gran espesor. Por ello, la península fue literalmente "aplastada" contra el manto infrayacente. La fusión posterior de los hielos descargó rápidamente la península, iniciándose un lento proceso de levantamiento isostático todavía activo. Así, la morfología glaciar tallada por el movimiento de los hielos, en valles suaves y pendientes a más bajo nivel, está ahora siendo profundamente modificada, pues al elevarse queda expuesta al ciclo de rejuvenecimiento, siendo poco a poco surcada por nuevos valles fluviales.

Geomorfología climática Uno de los grandes progresos de la reciente Geomorfología del siglo XX se refiere al conocimiento de los antiguos procesos climáticos.

El clima experimenta cambios tanto globalmente como a nivel regional a causa, entre otros factores, de la deriva de los continentes. En una región de hielos en la actualidad, por ejemplo, se puede estudiar la dinámica del hielo en movimiento y su efecto sobre la roca de base, que es estriada y limada por la fricción ejercida por los detritus, fragmentos de rocas transportados por el hielo. Se trata de rasgos propios de la morfología glaciar. Las mismas características se pueden reconocer hoy en día en rocas antiguas, a veces en lugares insospechados, como el Sahara central, que se encontraba en el polo sur durante el período Ordovícico. La mayor parte del paisaje suavemente ondulado que instintivamente asociamos con el clima dulce y húmedo de Europa noroccidental y América nororiental y suroriental no es el resultado de los procesos morfológicos actuales: se trata, de hecho, de una forma del terreno de origen periglacial debida a la última glaciación, y su edad es de unos 20.000 años o más.

Los procesos desérticos (que actualmente se pueden estudiar en el Sahara) dejan huellas en el terreno características de dicha condición de aridez. Puede parecer extraño, pero hoy en día reconocemos algunas de las formas del terreno análogas a las desérticas en ciertas características geomorfológicas de la Inglaterra central que se formaron hace 200 millones de años.

Véase **Corteza terrestre; Cuaternario; Deriva continental; Glaciaciones; Glaciar; Geología; Tectónica**

En la página anterior, arriba, las Montañas Rocosas, esculpidas en roca calcárea. Los estratos aparecen horizontales y las laderas son casi

verticales. En las cumbres dolomíticas (más abajo) los estratos son horizontales y la pared vertical: se han formado agujas y cimas picudas. Ya en esta página, vemos un caso contrario (abajo): el Gran Cañón. La erosión de las aguas ha diseñado un altiplano, elevado tras una larga historia sedimentaria. Se ha formado un ancho cañón con amplias ramificaciones. Los detritus de la erosión yacen todavía al pie de las paredes, formando depósitos coluviales que serán arrastrados en el transcurso del tiempo.



Geoquímica

La Geoquímica estudia los procesos químicos que intervienen en la formación de los materiales que constituyen la Tierra así como los demás cuerpos celestes, caso de la Luna y los planetas. Las muestras de rocas tomadas en ellos suministran gran cantidad de datos, aunque se pueden obtener otros muchos mediante observaciones con satélites y del análisis de los meteoritos que han caído sobre la Tierra procedentes del espacio exterior.

La base de la Química son los elementos, de los cuales se conocen 90 sobre la

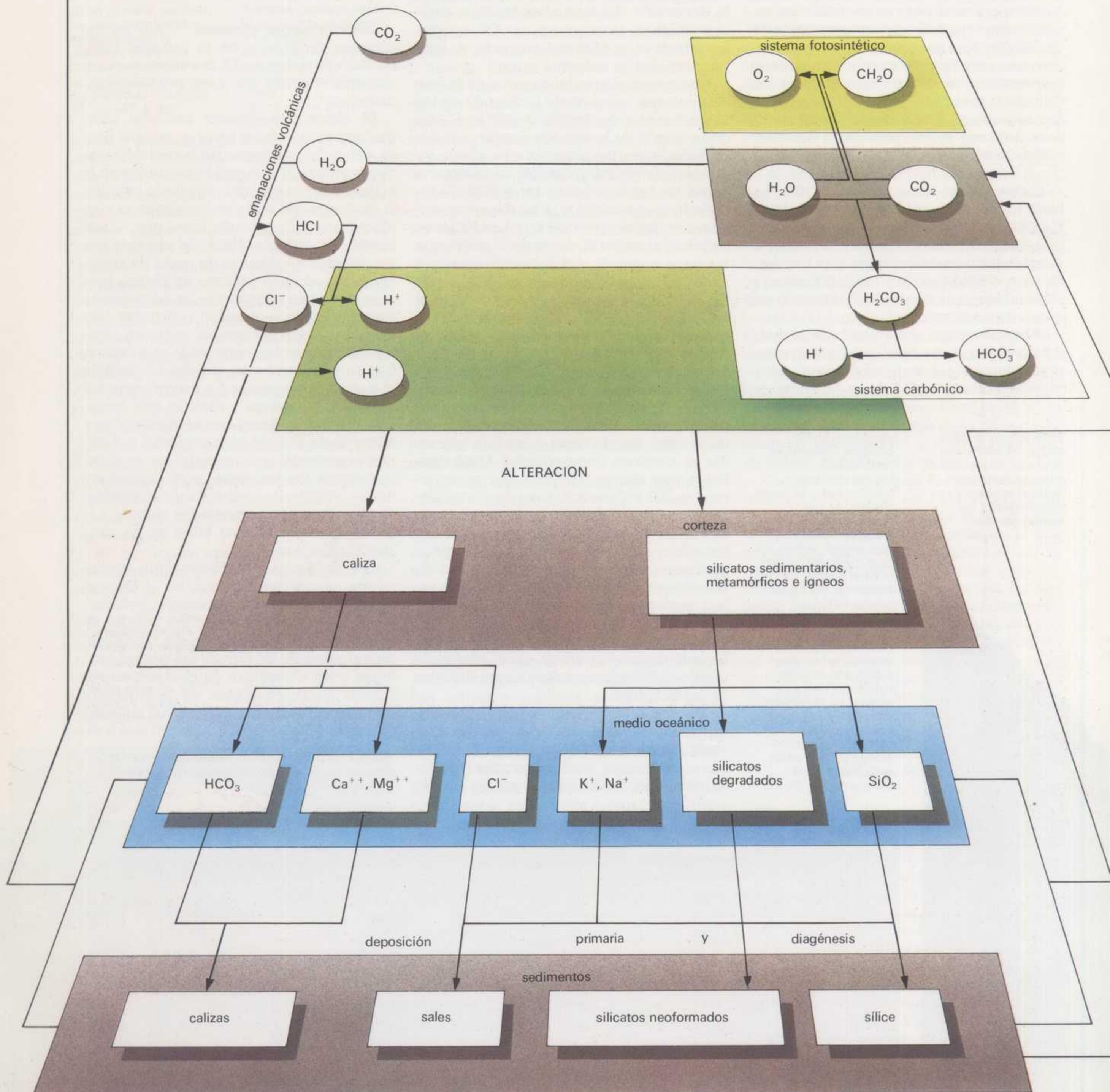
Tierra. Por medio del análisis espectroscópico se pueden hacer cálculos bastante precisos de las cantidades de cada elemento existentes en el Sistema Solar, lo que se conoce como *abundancia cósmica*.

El elemento más abundante, el hidrógeno, es también el más ligero; el helio es el segundo. Les siguen el carbono, el oxígeno, el nitrógeno, el silicio, el hierro y otros, en cantidades rápidamente decrecientes.

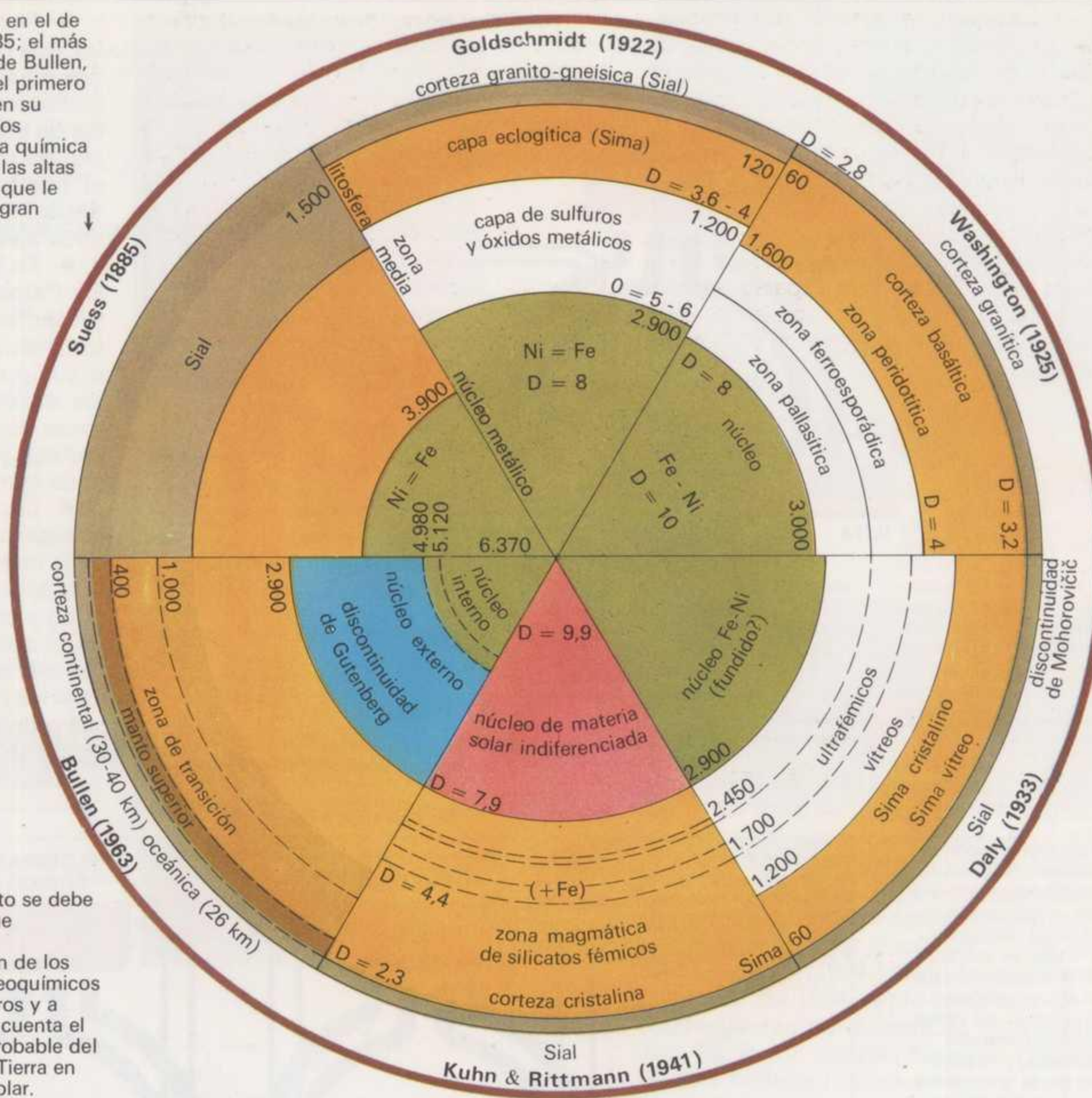
Según los cosmólogos (astrónomos que estudian el Universo), los elementos se generan mediante reacciones que tienen

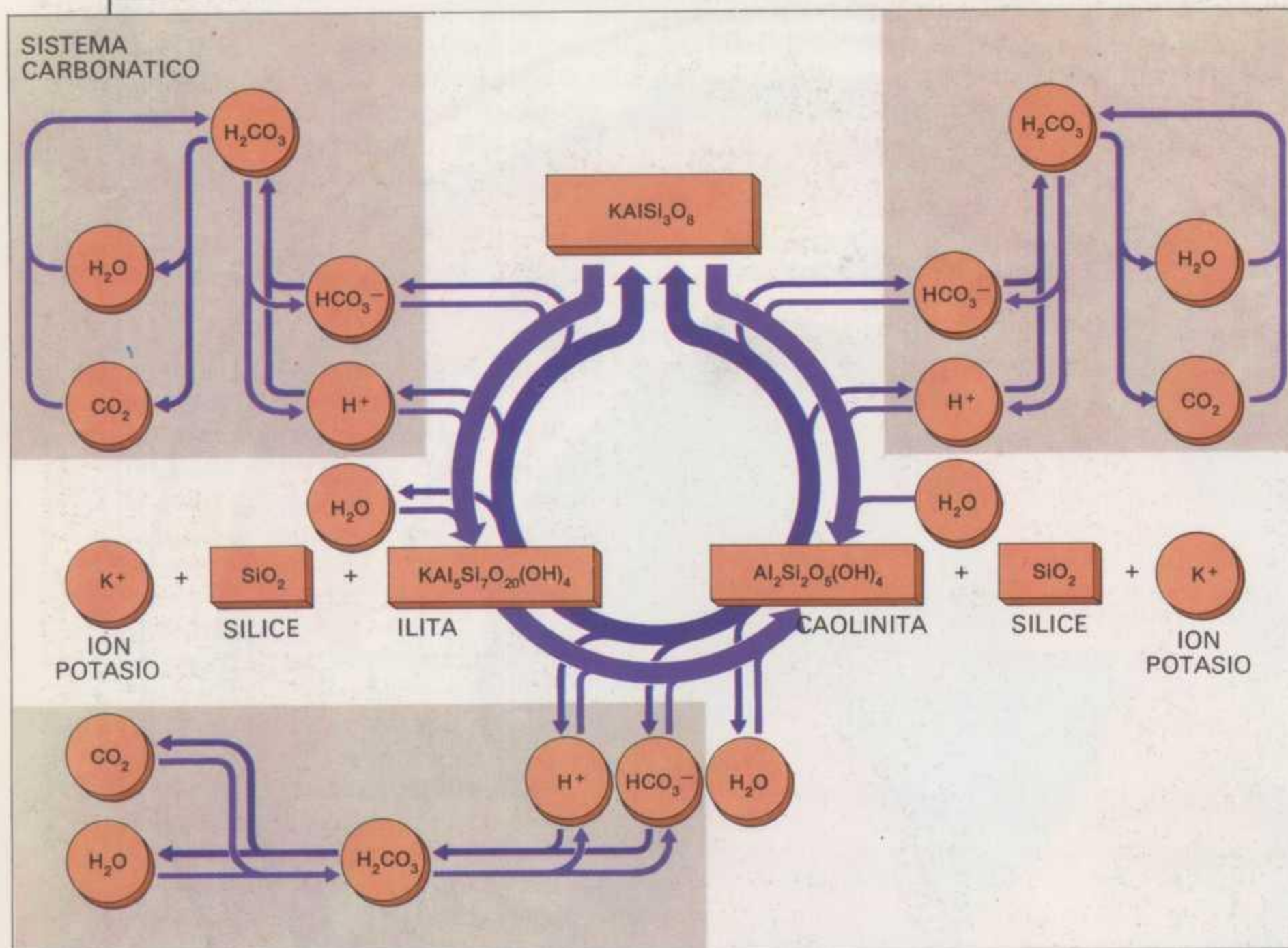
lugar en el interior de las estrellas en condiciones de temperatura y presión elevadísimas. Nuestro propio Sol es una estrella en la que estos procesos están actualmente en marcha.

Composición de la Tierra Hoy en día, los geoquímicos tienen un conocimiento muy preciso de la composición media de la corteza terrestre. Sin embargo, hay más indeterminación en lo que respecta a la composición del manto y del núcleo del planeta. Debido a que algunas rocas pro-



fiabilidad. Esto se debe también a que introduce la consideración de los "modelos" geoquímicos sobre los astros y a que tiene en cuenta el modo más probable del origen de la Tierra en el Sistema Solar.



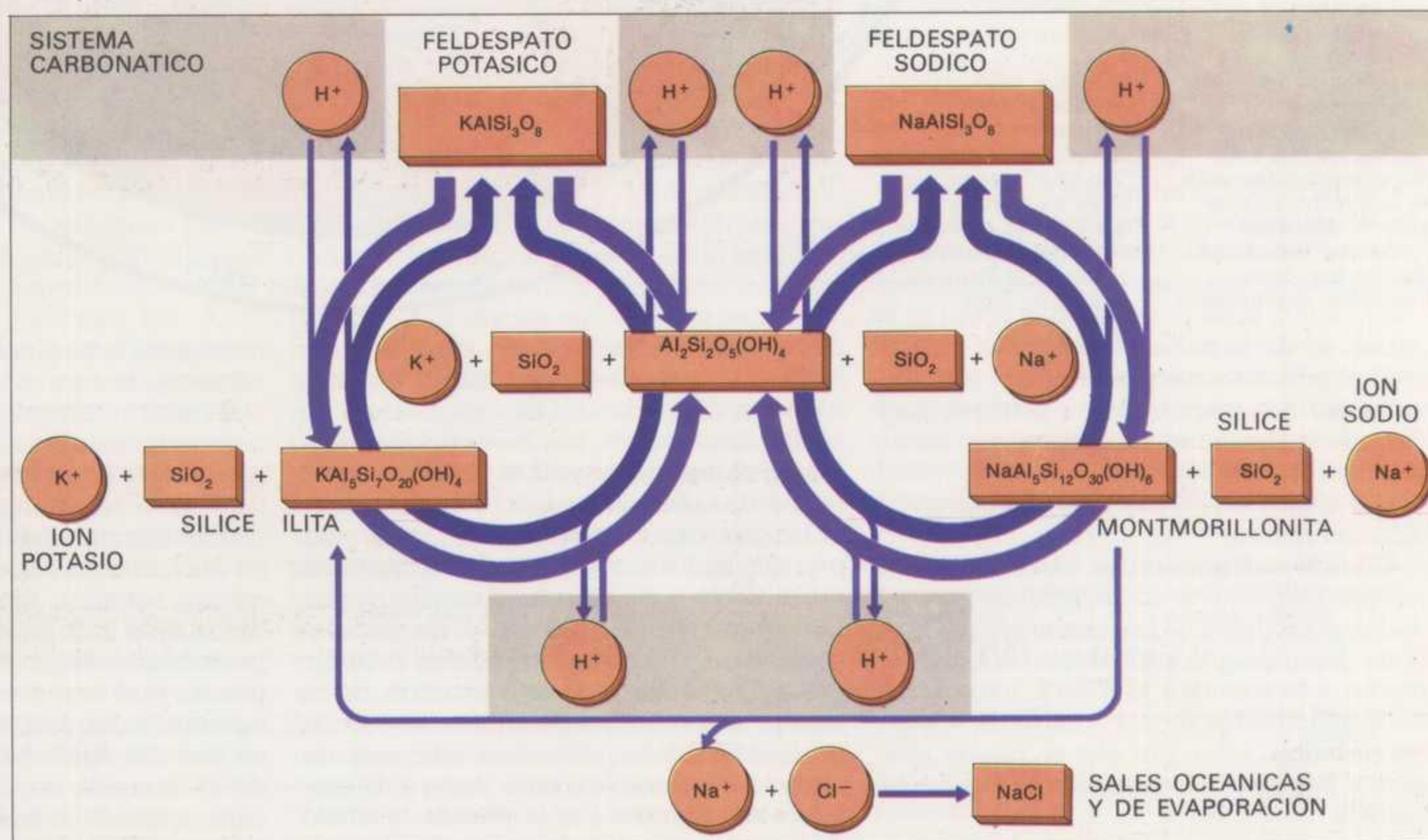


• Por otro lado, los elementos *calcófilos*, que tienen tendencia a asociarse al cobre en forma de sulfuros, encontrándose comúnmente concentrados en los depósitos de minerales metálicos. Se trata de hecho de una circunstancia afortunada para el hombre, porque generalmente estos depósitos incluyen cobre, cinc, hierro y otros metales, todos ellos muy útiles.

• En tercer lugar, los elementos *litófilos* ("amantes de la roca"), que tienden a presentarse en forma de óxidos y silicatos. Incluyen el oxígeno, el flúor, el uranio, el sodio, el potasio y alguno más. Estos son los constituyentes más frecuentes de las rocas comunes que forman el manto y la corteza, y (en forma de sales solubles) del agua marina.

• Los elementos *biófilos* ("amantes de la vida") se encuentran mayoritariamente en la materia orgánica, plantas y animales, y en la atmósfera: son el oxígeno, el nitrógeno y otros gases más raros, como el helio, el neón y el argón. Las razones de estas asociaciones prioritarias (pero no exclusivas) están en relación con las diversas propiedades de los elementos, su posición en la tabla periódica y la dimensión y valencia de sus átomos.

El esquema superior muestra cómo los silicatos se alteran por acción de los iones hidrógeno. La ortosa es atacada por la descomposición del ácido carbónico. Se originan así varios tipos de minerales arcillosos, y la silice que no se une a ellos forma suspensiones coloidales que terminan precipitando para formar calcedonia. A la derecha, la manera en que el sodio y el potasio son lixiviados durante la alteración de las rocas silicatadas. El primero termina en el mar mayoritariamente, mientras que el segundo se incorpora a las nuevas rocas que se están formando a partir de los productos de alteración de las primeras. Asimismo, el sodio de las evaporitas procede de dicho ciclo.



tinental (la parte más antigua de la corteza terrestre), la composición media es: SiO_2 , 60%; Al_2O_3 , 16%; FeO y Fe_2O_3 , 7%; CaO , 5%; Na_2O , 3,9%; MgO , 3,6%; K_2O , 3,2%. Esta composición es parecida a la composición media del granito (formado por cuarzo, feldespato y minerales de hierro-magnesio). Puesto que se cree que el granito proviene de la fusión de sedimentos transportados a niveles profundos corticales, e incluso del manto superior durante la interacción entre las placas litosféricas, es interesante destacar que, de hecho, su composición es casi idéntica a la de una mezcla de sedimentos superficiales.

Asociaciones químicas Un pionero de la Geoquímica, de hace más de medio siglo, Victor Goldschmidt, constató que los elementos químicos se asocian entre sí de ciertas maneras características dentro de la Tierra:

• Por un lado están los elementos que Goldschmidt llamó *siderófilos* ("amantes del hierro"); se trata de elementos como el níquel, el cobalto, el osmio, el iridio, el platino, el oro y el carbono, que suelen presentarse en estado nativo y que se suponen asociados al hierro en el núcleo de la Tierra, precisamente de ello deriva su nombre.

Ciclos geoquímicos La Geoquímica persigue también el estudio de los ciclos de los elementos en la tierra sólida, en el océano y en la atmósfera. La Tierra no es un objeto estático, sino que está en evolución permanente, aunque los cambios puedan pasar inadvertidos para el observador ocasional, dada la corta duración de nuestra vida en comparación con los tiempos geológicos. Por ejemplo, las aguas llamadas "juveniles" están siendo constantemente arrojadas a la superficie junto con las rocas fundidas (magmas) del manto en los procesos volcánicos, y aportan así, de manera insensible, nuevos suministros de



MOLECULAS INORGANICAS

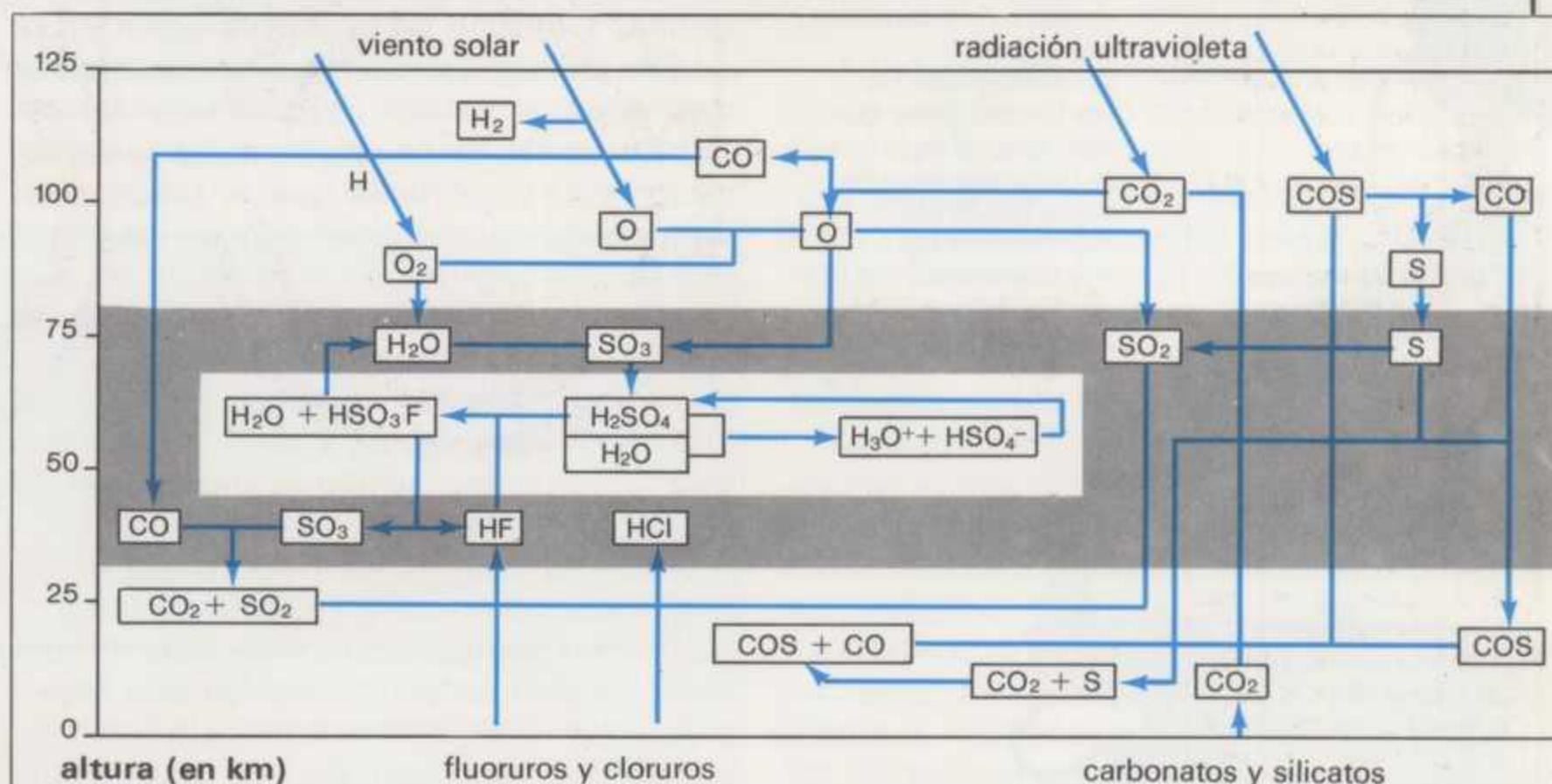
• OH ⁻	oxidrilo
• H ₂ O	agua
• H ₂	hidrógeno
• NH ₃	amoníaco
• SiO	óxido de silicio
• H ₂ S	ácido sulfhídrico
• SO	óxido de azufre
• HD	hidrógeno o deuterio
• N ₂ H ⁻	diimiduro
• HDO	monóxido de deuterio

MOLECULAS ORGANICAS

• OH	metilidina
• ON	cianógeno
• CO	monóxido de carbono
• CS	monosulfuro de carbono
• H ₂ CO	formaldehído
• HCN	ácido cianhídrico
• HCOOH	ácido fórmico
• HC ₃ N	cianoacetileno
• CH ₃ OH	alcohol metílico
• CH ₃ CN	cianuro de metilo
• HNCO	ácido isocianico
• H ₂ CS	tioformaldehído
• NH ₂ COH	formamida
• CH ₃ C ₂ H	metilacetileno
• CH ₄ CO	acetaldehído
• CH ₂ NH	metanimina
• HNC	ácido isocianídrico
• (CH ₃) ₂ O	éter dimetílico
• C ₂ H	radical acetilénico
• CH ₃ CH ₂ OH	alcohol etílico
• CH ₃ NH ₂	metilamina
• (CH ₄ ?)	metano
• DCN	cianuro de deuterio
• H ₂ C ₂ HCN	cianuro de etileno

MOLECULAS COMETARIAS

• cresta	CH, OH, C ₂ , C ₃ , CH, NH, NH ₂ (espectro visible) H ₂ O (Bradfield, 1974) (espectro radio) CH ₃ CN, HCN (Kohoutek, 1973) (espectro radio)
• cola	CO ⁻ , CO ₂ ⁻ , N ₂ ⁻ , CH ⁻ , OH ⁻ (espectro visible) H ₂ O (Kohoutek, 1973) (espectro visible)
• hipotéticas moléculas precursoras	H ₂ , CH ₄ , NH ₃ , H ₂ CO, CH ₃ CN



elementos volátiles a la atmósfera y a la hidrosfera.

Muchos de esos gases han sido reciclados, habiendo sido previamente transportados desde la superficie hasta niveles profundos mediante movimientos tectónicos de subsidencia (hundimiento de las placas litosféricas durante la formación de cadenas montañosas). En la atmósfera y los océanos, el ciclo hidrológico toma constantemente agua de los océanos por medio de la evaporación y la revierte seguidamente sobre la tierra en forma de lluvia que a continuación actúa sobre las rocas erosionándolas. Los elementos disuel-

El estudio de la Geoquímica sería incompleto si no se tuviera en cuenta su encuadramiento en la Cosmoquímica, de la cual la terrestre no es más que un caso particular. En la columna de la izquierda se muestra una relación de moléculas hoy día conocidas en el espacio interestelar, que están constantemente destruyéndose y reconstruyéndose bajo

la acción de los rayos ultravioleta. La complejidad del ciclo geoquímico en el interior de una atmósfera planetaria es ilustrada en el esquema de arriba, en el que se explica cómo se forman las nubes de gotas de ácido sulfúrico en la atmósfera de Venus. Más arriba, fotografía del planeta realizada por el *Mariner 10* a una distancia de aproximadamente 720.000 kilómetros.

tos químicamente son transportados a continuación por el agua superficial y por la que se infiltra en el subsuelo. Al final, todo retorna a los sedimentos y de éstos, por subsidencia y por fusión, de nuevo a la atmósfera, de forma que el ciclo puede recomenzar. Tal vez sea ésta la lección más importante de la Geoquímica: nada se destruye en la Tierra.

Véase Agua; Corteza terrestre; Erosión; Geología; Geomorfología; Manto terrestre; Mar; Núcleo terrestre; Oxidación y reducción; Química; Roca; Tierra

Ginecología

La Ginecología es la especialidad médica que se ocupa del estudio del aparato genital femenino, así como del diagnóstico y tratamiento de las enfermedades que afectan al mismo. Dado que la misión del aparato genital es la procreación, la Ginecología comprende también el estudio de los procesos implicados en la reproducción humana, como la fecundación de la célula-huevo, el embarazo y el parto. El ginecólogo es, por lo tanto, el médico experto en las enfermedades propias de la mujer y en sus funciones reproductivas. El tratamiento de la esterilidad femenina, así como los aspectos médicos de la contracepción son también parte del quehacer habitual de una consulta ginecológica.

La exploración ginecológica Un adecuado estudio ginecológico comienza con el interrogatorio de la paciente, en el que se hará especial hincapié en la presencia de síntomas tales como el flujo o sangrado vaginales, reglas abundantes, molestias durante las reglas, dolores pélvicos, etc. Hay que reseñar la fecha de la primera regla (menarquia) y también la frecuencia con que éstas se presentan, así como su duración y cantidad. Otro dato importante se refiere a la historia reproductiva de la mujer (número de embarazos, núme-

ro de hijos) y a la utilización en su caso de algún método anticonceptivo.

El ginecólogo inspeccionará posteriormente el estado general de la enferma, su estado de nutrición, la coloración cutánea, su actitud y su comportamiento. La inspección se centrará a continuación en el abdomen y en los genitales externos, con lo que podrán descubrirse tumoraciones abdominales y lesiones en la vulva. El tacto vaginal es una exploración propia del ginecólogo, que aporta un gran número de datos acerca de la existencia de patología genital. Consiste en la introducción en la vagina de los dedos índice y corazón de una mano, junto con la palpación del abdomen con la mano contraria. Es la exploración más importante que se practica en un reconocimiento ginecológico de rutina.

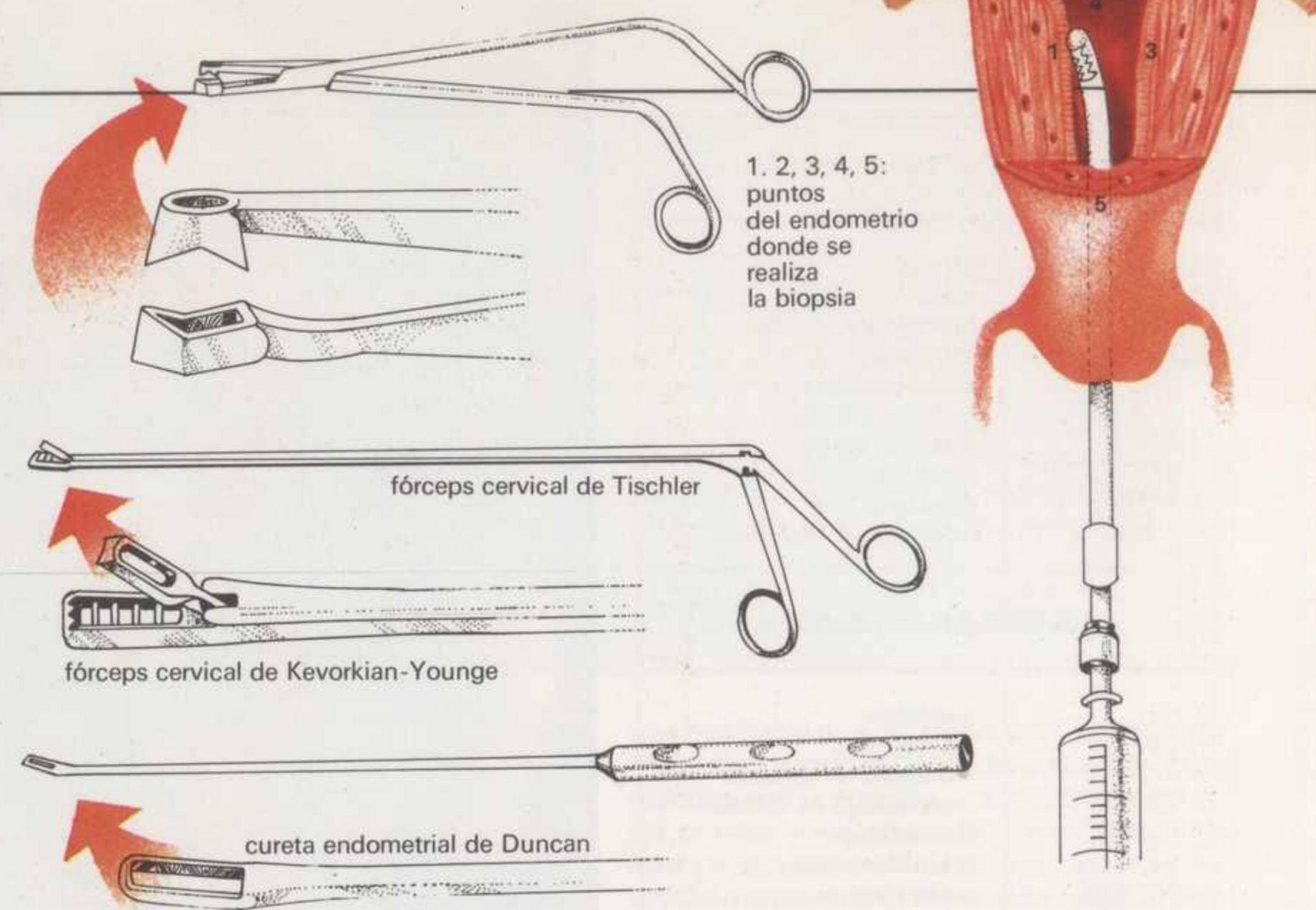
A veces el ginecólogo necesita no sólo palpar sino también ver los genitales internos (vagina y cuello uterino); para ello puede utilizarse la inspección mediante el auxilio de dos valvas o de un espéculo, que tienen como misión la separación de las paredes vaginales.

Finalmente, la técnica moderna ha introducido, como en el resto de la Medicina, nuevas posibilidades en la exploración ginecológica. Estos procedimientos especializados, complementarios a la exploración física realizada por el ginecólogo, consisten en radiografías con contraste

del aparato genital femenino (*histerosalpingografía*), *ecografías* (utilizando ultrasonidos) y exploración con radioisótopos. La citología vaginal, la colposcopia y la biopsia son también técnicas especializadas, de las que se tratará seguidamente.

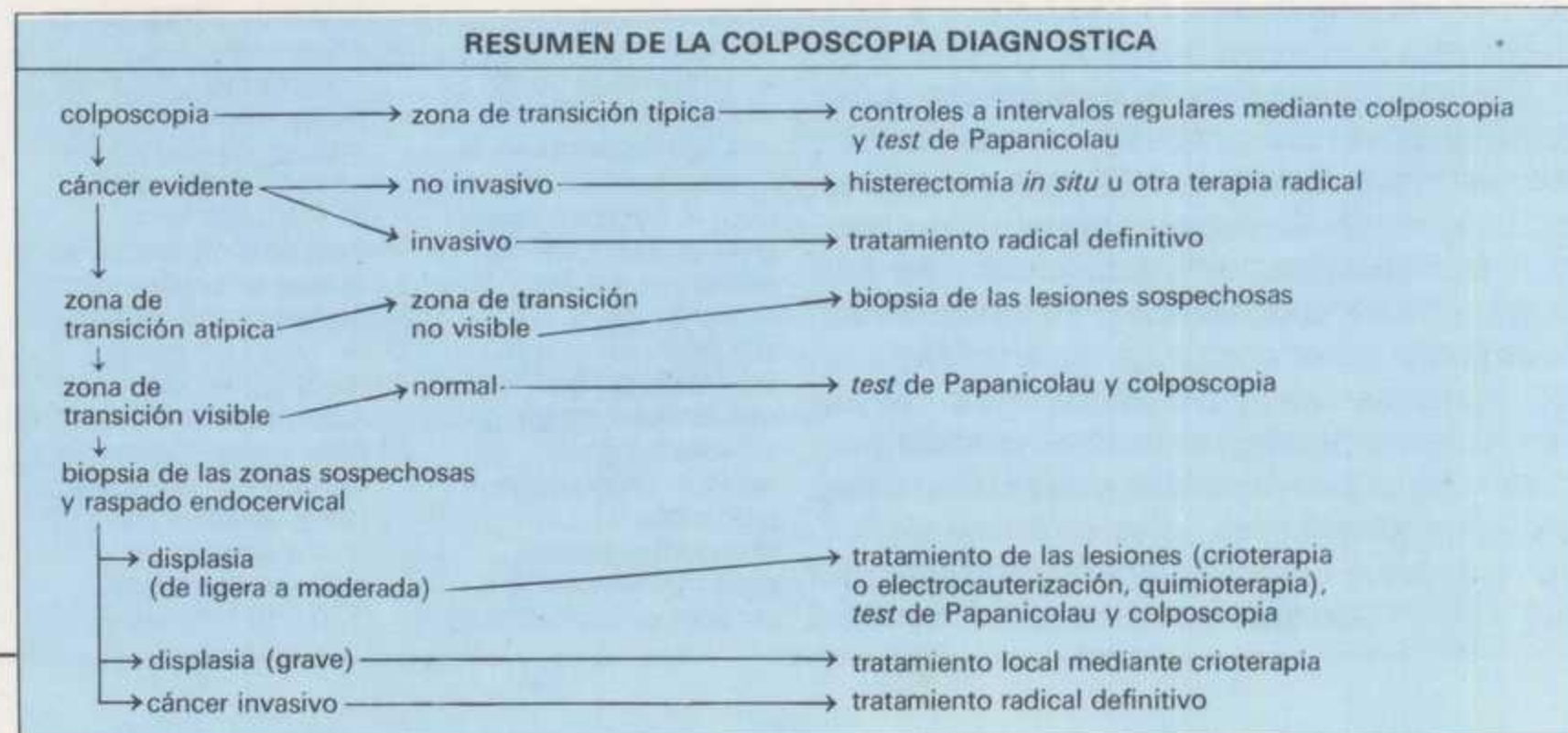
Citología, colposcopia y biopsia Uno de los aspectos de mayor importancia dentro de la moderna Ginecología lo constituye la prevención del cáncer genital femenino. De los tumores genitales de la mujer, el cáncer de cuello uterino revisite, por su frecuencia, un especial interés. Puede afirmarse que la incidencia del cáncer de cuello invasor ha disminuido en un 50% en los países en los que se utilizan técnicas de detección precoz del mismo en la población femenina con riesgo de padecer esta enfermedad. Los procedimientos empleados para la detección precoz de estos tumores son la citología vaginal, la colposcopia y la biopsia.

La citología vaginal consiste en el raspado, mediante una espátula estéril, de las paredes de la vagina y del cuello uterino para la obtención de una mezcla de células descamadas que serán posteriormente sometidas a examen microscópico. Este material, adecuadamente teñido, permite el estudio de los caracteres celulares del núcleo y citoplasma, y posibilita la detección de lesiones que pasan desapercibi-



La facilidad de obtener pequeñas muestras de tejido (biopsia) ha incrementado enormemente las posibilidades diagnósticas en el caso de las más frecuentes afecciones ginecológicas. En las ilustraciones que aparecen al lado y en la parte superior de estas líneas se representan los instrumentos ginecológicos más habituales: fórceps

cervical de Tischler, fórceps cervical de Kevorkian-Young, cureta de Duncan para la biopsia del endometrio. Al lado se indican los puntos en los que se efectúan las tomas de muestra del endometrio. A la izquierda, colposcopio para inspeccionar directamente el cuello del útero.



colposcopio

das a la simple inspección o al examen con colposcopio. Según las alteraciones que presentan las células estudiadas, el frotis se clasificará en uno de los cinco grados que describió Papanicolaou: el grado I se refiere a la citología completamente normal, el grado V representa la citología ciertamente maligna, mientras que el resto de grados lo constituyen las situaciones intermedias.

La citología es un método sencillo de realizar, completamente inocuo y de gran seguridad. Sin embargo, su mayor utilidad se presenta cuando se utiliza en combinación con otra técnica diagnóstica como la colposcopia.

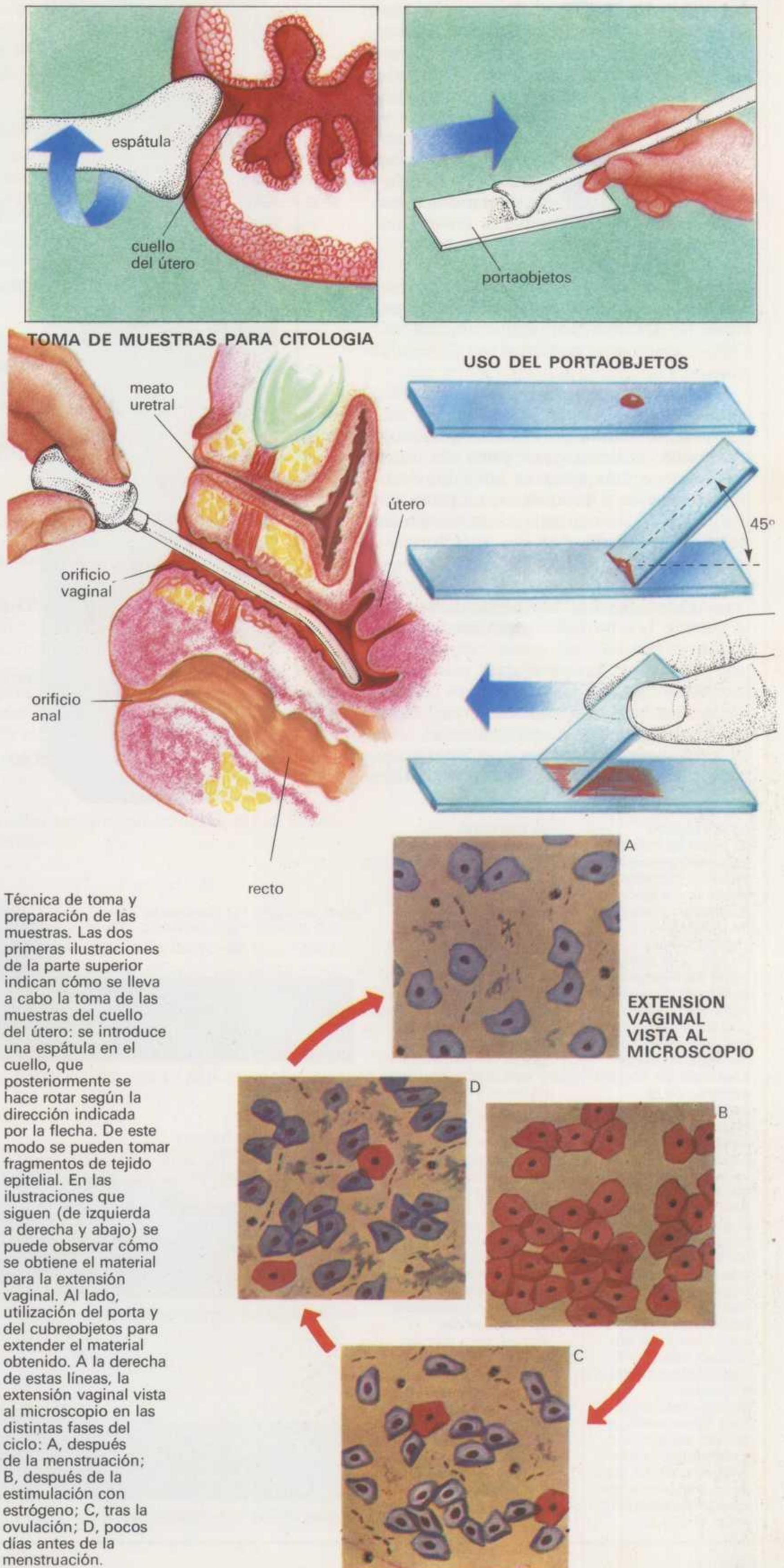
La colposcopia es la visualización de la vagina y del cuello uterino mediante un aparato denominado *colposcopio*, provisto de unas lentes que incrementan la imagen de 10 a 20 veces. Permite estudiar la disposición, color y alteraciones del cuello uterino y proporciona una imagen topográfica y panorámica de lesiones que no ofrece la citología. Sin embargo, no permite afirmar la presencia de un cáncer por no aportar datos acerca de la estructura celular. La colposcopia es, junto con la citología, un método de sospecha, no diagnóstico, pero que permite hacer las tomas de biopsia con gran precisión.

La biopsia, es decir, el examen histológico de una muestra de tejido, es, efectivamente, el único método que permite afirmar la naturaleza de las lesiones con precisión y seguridad, y debe ser realizada en caso de hallazgos patológicos en la citología o en la colposcopia.

Contracepción Antes de comenzar a utilizar cualquier método anticonceptivo sería muy conveniente que toda mujer se sometiese a un examen ginecológico y a algunas pruebas analíticas sencillas que mostrasen la presencia o ausencia de contraindicaciones. El ginecólogo es el especialista más adecuado para indicar a la mujer cuál es el método anticonceptivo que mejor se adapta a sus necesidades personales y familiares, así como también el que controlará la eventual aparición de efectos secundarios que obliguen a cambiar a otro método.

Esterilidad Un aspecto importante de las consultas ginecológicas es el referente a la esterilidad conyugal. Son muchos los matrimonios que consultan por falta de descendencia, como muchas son las causas que pueden originar que una pareja sea estéril. Estas causas pueden afectar tanto al hombre como a la mujer, por lo que el estudio de la pareja estéril se realizará sobre ambos cónyuges. La labor del ginecólogo, centrada principalmente en el ámbito femenino, podrá descubrir alteraciones del aparato genital que expliquen el origen de la esterilidad, tales como infecciones, malformaciones congénitas o tumores.

Véase **Adolescencia; Concepción; Embarazo; Genital, aparato; Glándulas mamarias; Medicina preventiva; Menstruación**



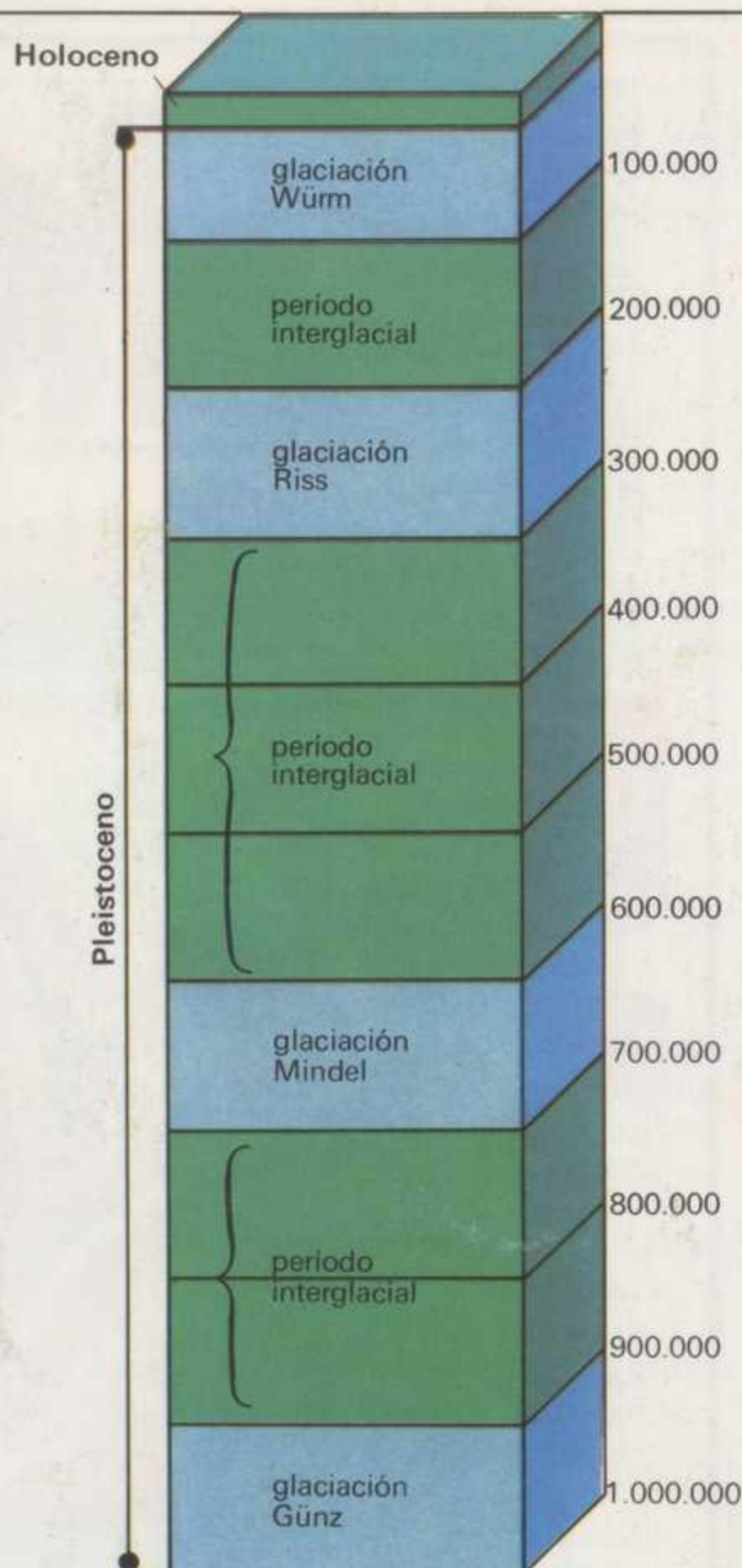
Glaciaciones

El 24 de julio de 1837, Louis Agassiz dirigió a la Sociedad de Ciencias Naturales suiza un estudio que hizo época, en el que exponía su teoría sobre las glaciaciones. A continuación visitó Escocia y otras regiones de Europa septentrional. Más adelante emigró a Estados Unidos y llegó a ser profesor en Harvard. Agassiz encontró en casi todas partes evidencias de la existencia de un gran período glacial, y defendió con apasionamiento sus descubrimientos, obteniendo finalmente el reconocimiento universal de sus teorías. Es interesante hacer notar que las primeras pruebas de un antiguo período glacial habían sido expuestas mucho tiempo antes en Escocia por James Hutton, en 1795, y por otros geólogos en Suecia y Alemania.

A partir de la investigación de Agassiz se empezó a hablar de un período glacial, y a éste se añadieron, algunos decenios más tarde, indicios geológicos de otras glaciaciones más antiguas en India, Australia, Suráfrica y Suramérica, en rocas de distintas épocas, con edades de hasta más de mil millones de años. Los tradicionalistas religiosos y algunos geólogos conservadores no admitían —por razones distintas— la idea de un ambiente cambiante en el planeta. Los períodos glaciales habrían supuesto cambios de consecuencias catastróficas. Los "creacionistas" mantenían la idea de que la Tierra había sido creada por un acto divino el año 4000 a. de C. Los científicos conservadores sostenían, por otro lado, que la Tierra se encontraba sometida a estrictas condiciones de estabi-

En el esquema de arriba se indican los cuatro principales períodos glaciales de la última era glacial. El primero, glaciación de Günz, tuvo su comienzo hace un millón de años y, como los siguientes, duró unos cien mil años. Le sucedió un período interglacial que duró doscientos mil años, en el que tuvo lugar un notable aumento de la temperatura. Hace setecientos mil años tuvo lugar la glaciación de Mindel y hace trescientos mil se inició la glaciación de Riss, a la que sucedió la glaciación de Würm después de sólo cien mil años de clima interglacial. Los tres esquemas de la derecha ilustran las modificaciones experimentadas por algunas tierras que han estado sometidas a intensas glaciaciones, sobre todo Groenlandia, el escudo escandinavo y probablemente la Antártida. Arriba, parte de un continente que emerge de las aguas sobre el que se

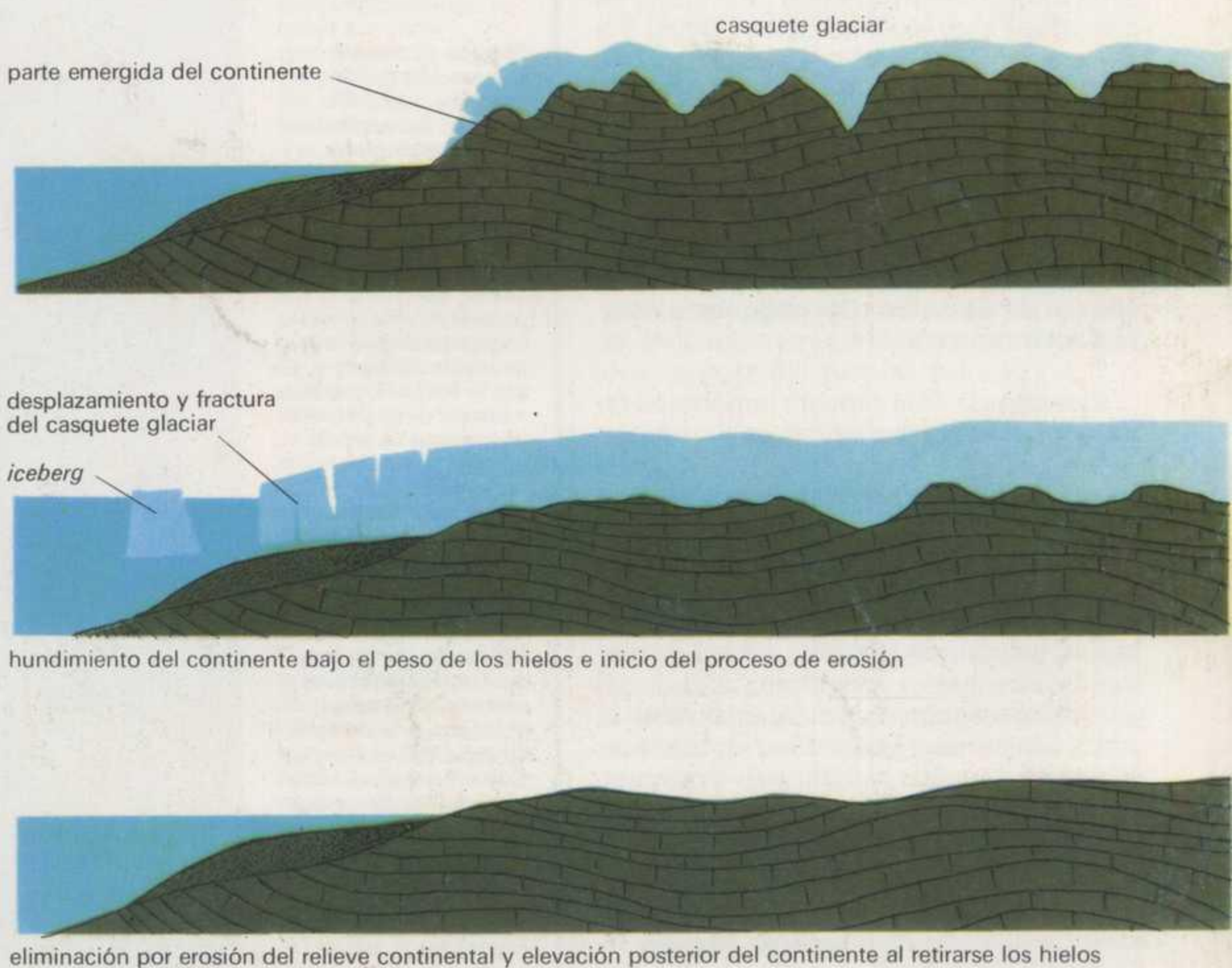
va formando paulatinamente una capa glaciaria que lo recubre. El peso de ésta provoca deformaciones de la corteza y el manto infrayacente, que se traducen en la subsidencia (descenso) del continente (centro). De las aguas emergen las cumbres más altas, la enorme capa glaciaria desciende en dirección al mar, y al fracturarse da lugar a la formación de icebergs. Además, la capa glaciaria, en su movimiento continuo sobre el continente, erosiona y modela la superficie. Después del total deshielo de los glaciares, el continente, que ahora se encuentra aligerado de peso, tiende a elevarse y a sobresalir de la superficie marina, pero con los relieves preexistentes totalmente suavizados (abajo). Este es el aspecto de regiones actuales que tiempo atrás estuvieron sometidas a las glaciaciones, como el norte de Canadá, Escandinavia y gran parte de Siberia.



lidad; la aplicación rigurosa de los principios uniformistas no permitía concebir la existencia de los cambios ambientales radicales exigidos por un período glacial.

Evidencias de antiguos glaciares Son de especial importancia en la reconstrucción del curso de las glaciaciones las estrías y los surcos dejados por los glaciares en su movimiento de arrastre sobre la superficie rocosa. Estas marcas son debidas al roce entre el sustrato y los fragmentos rocosos transportados en suspensión por el hielo del glaciar.

Las estrías pueden también formarse en los planos de las fallas, debido a la fricción entre las dos superficies rocosas durante el movimiento de las mismas. No obstante, un experto es capaz de diferenciar este estriado de las marcas de origen glaciario. Las superficies rocosas redondeadas y fuertemente estriadas por el glaciar se llaman *rocas aborregadas*. En las extensas llanuras areno-limosas de Europa septentrional o de la parte central-septentrional de América, la roca viva aflora en superficie sólo en raras ocasiones. Sin embargo, de manera esporádica se encuentran fragmentos rocosos de dimensiones enormes, de hasta 3 y 6 metros de longitud, correspondientes a materiales desconocidos en la región. Son los llamados *bloques erráticos*, abandonados por las lenguas glaciares cuaternarias a grandes distancias del punto de "captura". Así, en Alemania se han encontrado bloques erráticos transportados desde Suecia y Finlandia, a unos 800-1.600 km de distancia. Se ha compro-



bado también que algunas de las rocas de Long-Island, en Nueva York, fueron transportadas desde el norte de Canadá.

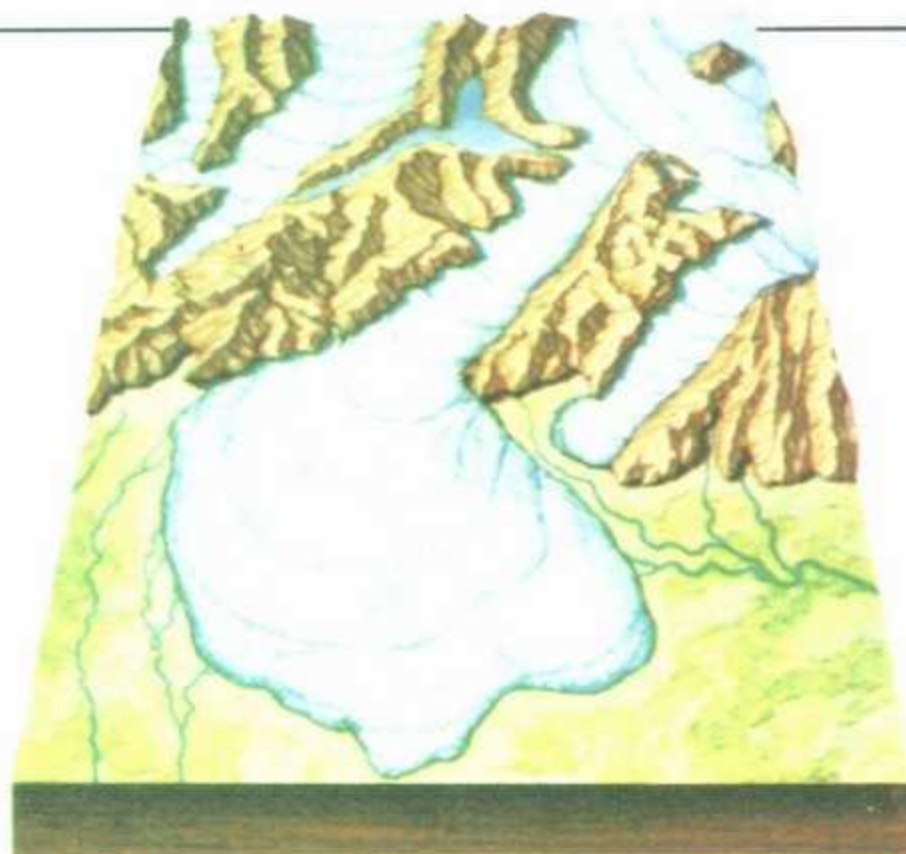
En las terminaciones de los glaciares existen a menudo pequeños lagos procedentes de la fusión del hielo. En verano el hielo funde parcialmente y la arena, el limo y la arcilla contenidos en el mismo son transportados hacia estos lagos. Allí, las partículas más gruesas se sedimentan rápidamente, formando un estrato continuo de color claro. En invierno, la superficie de estos lagos se hiela, mientras en el fondo comienza la sedimentación tranquila de las partículas arcillosas más finas, en suspensión desde el verano. Forman una nueva capa de color más oscuro debido a la materia orgánica en putrefacción. Este par de capas gris claro-negro representa, pues, un período anual. Se conocen con el nombre sueco de *varvas* y son muy corrientes en los viejos lagos de Estados Unidos, Canadá, Suecia y Unión Soviética, que bordeaban a los grandes casquetes glaciares.

El científico sueco barón de Geer estableció como hipótesis que el espesor del estrato claro representaba la duración y temperatura del verano correspondiente, por lo que, a partir de la medida de los mismos, se podía obtener una curva que reflejaba las variaciones del clima a lo largo del tiempo. Con esta idea en mente llevó a cabo el análisis de aproximadamente 13.000 estratos. Cuando terminaba con un lago pasaba al siguiente, de sur a norte, abarcando así todas las épocas del Holoceno y de las glaciaciones tardías. Gracias a las confirmaciones obtenidas mediante la datación por carbono-14, sabemos en la actualidad que el barón de Geer había elaborado la más precisa cronología de la antigua historia glacial. Además, aportaba así una nueva prueba decisiva de la existencia de los grandes períodos glaciales.

Períodos glaciales e interglaciales

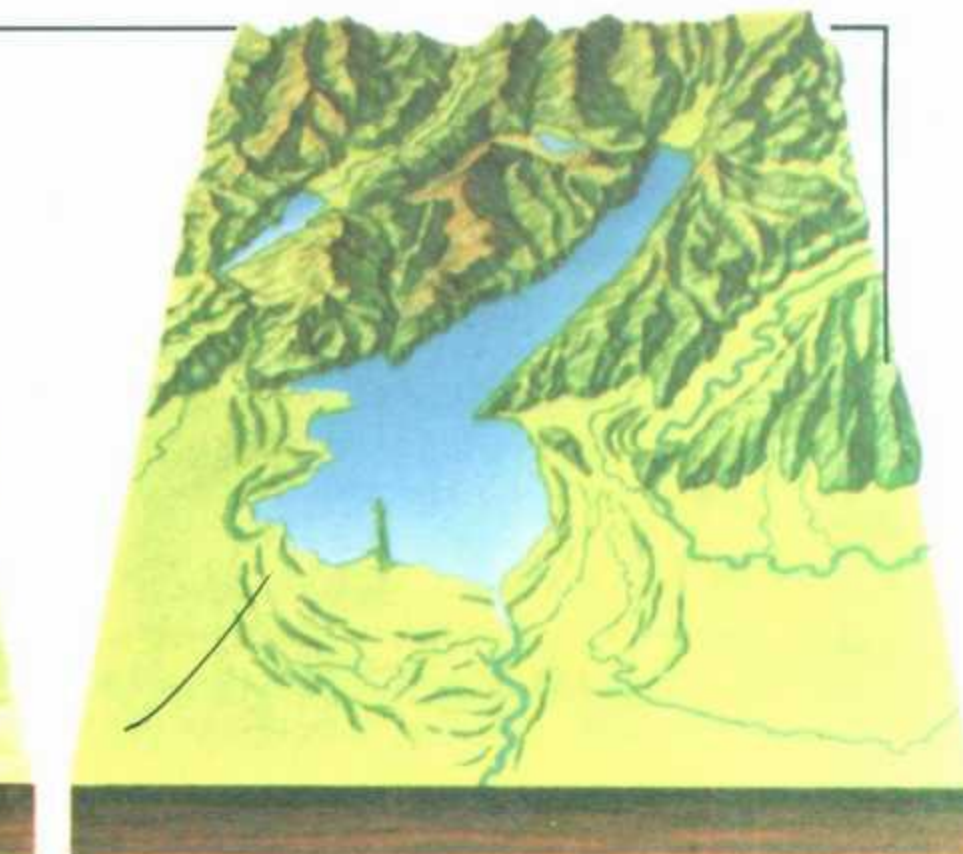
Los primeros investigadores pensaban en la existencia de un único período glacial; sin embargo, a finales del siglo pasado se constató la existencia de cuatro límites diferentes del avance de los hielos en Norteamérica. Poco tiempo después, estos cuatro límites se confirmaban también en los Alpes, deduciéndose por lo tanto la existencia de una equivalencia temporal entre los períodos glaciales de ambas regiones, y generalizándose para todo el hemisferio. Cincuenta años más tarde se descubría el método de datación por carbono radiactivo, y se desarrollaba la técnica del paleomagnetismo.

El empleo de estos nuevos métodos en el análisis de sedimentos recientes extraídos del fondo del océano y de sedimentos procedentes de los suelos glaciares e interglaciares de Checoslovaquia puso en evidencia el hecho sorprendente de que durante el gran período glacial, esto es, entre 1,7 y 2 millones de años, habían existido por lo menos diecisiete ciclos glaciales. ¿Cómo se había podido cometer se-



Un ejemplo de lago de origen glacial: el lago de Garda. Hace algo menos de 30.000 años diversos glaciares cubrían la cadena alpina y descendían por los valles en largas lenguas que llegaban a alcanzar un espesor considerable en la desembocadura de los mismos, como puede verse en la imagen que está justo sobre estas líneas. En

esta figura se puede ver también una lengua menor que baja al este del glaciar principal (el futuro valle del Adigio). A la derecha, situación actual del lago. El margen meridional ocupa el antiguo valle glacial y está rodeado por colinas morrénicas. En el esquema de abajo, a la izquierda, corte transversal de un valle glacial: la masa



de hielo que ocupa todo el valle ejerce una acción erosiva bastante uniforme a lo largo de las paredes y sobre el fondo. Se modela así un valle de paredes verticales y de fondo con forma semielipsoidal (en la sección se puede apreciar el perfil característico en U de los valles glaciares). La capacidad erosiva es muy alta, y los

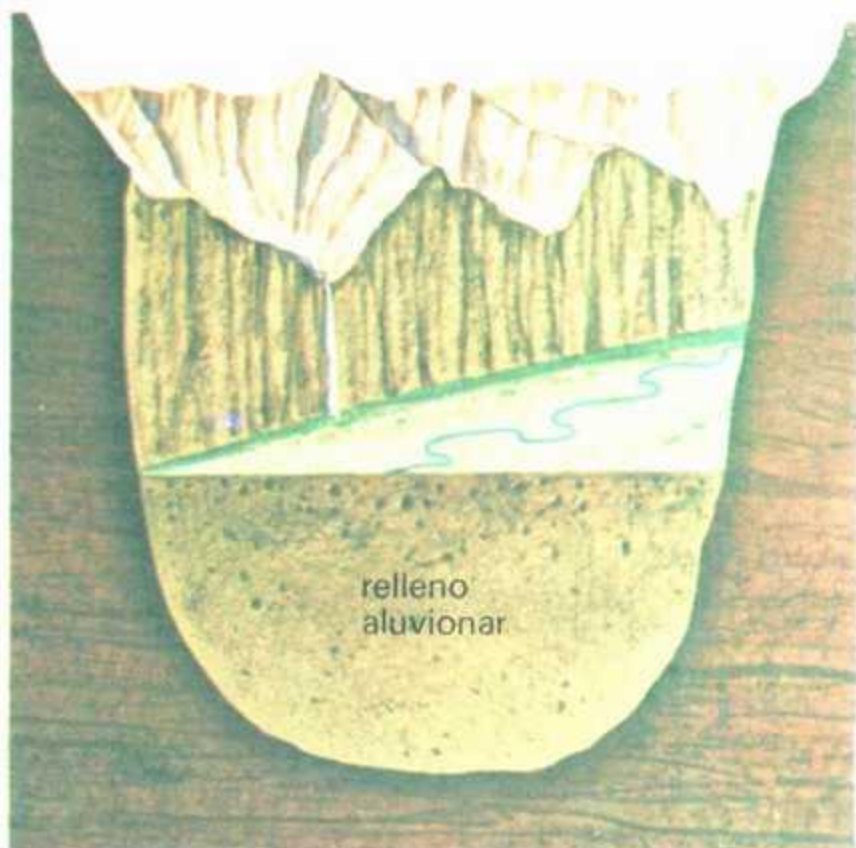
productos de la erosión son transportados hacia la base del glaciar. Abajo, a la derecha, sección de un valle posglacial: el perfil original se ha conservado, aunque enmascarado por el relleno de aluviones fluviales posteriores. Las paredes conservan una inclinación casi vertical y los valles laterales quedan colgados.

mejante error en la estimación del número de períodos glaciales? La respuesta era sencilla: sólo se conservaban los vestigios de las cuatro glaciaciones principales, que habían borrado los efectos de las menores.

Para simplificar la terminología, resulta útil situar todo el período de la Gran Era Glacial dentro del Cuaternario, de acuerdo con la costumbre geológica de etiquetar con determinados nombres las grandes divisiones del tiempo; cada período particular dentro de un período climático enormemente frío de larga duración puede ser considerado como un ciclo glacial-interglacial. La longitud de estos depende de numerosos factores. Uno de ellos es el ciclo de excentricidad orbital (93.000 años), que corresponde al tiempo que tarda la órbita terrestre en su giro alrededor del Sol en pasar de una forma elíptica a una forma casi circular. Se piensa que las

glaciaciones coinciden con las órbitas circulares. Otro factor es el establecimiento de una distribución no uniforme de tierras emergidas y mares en el planeta, de modo que la inclinación del eje terrestre haga llegar el calor del Sol a latitudes con gran proporción de tierras y poca agua. Dado que las primeras absorben menos calor que las segundas, la superficie de la Tierra se iría enfriando paulatinamente en estas condiciones, que debido a la dinámica de las placas litosféricas sólo se repetirían al cabo de períodos muy largos de tiempo. Otro elemento es la variación en la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, que depende de la nubosidad, de la cantidad de polvo presente en la atmósfera, transportado por los vientos o arrojado por los volcanes, y de la cantidad de calor liberada por el Sol, que también es variable.

En el curso de los períodos interglacia-



les, como en el que actualmente nos hallamos, los hielos de las latitudes más bajas, como los de América y Europa septentrional, funden, persistiendo sólo los de las latitudes más altas, como los de Groenlandia, Islandia y la Antártida. Los períodos interglaciales son muy cálidos, pero duran sólo de 10.000 a 20.000 años, reiniciándose seguidamente un nuevo período glacial.

Antiguos períodos glaciales Hemos hablado ya del descubrimiento, a finales del siglo pasado, de evidencias de otros períodos glaciales muy anteriores al Cuaternario. Hoy sabemos que estos períodos se distribuyen con cierta uniformidad a lo largo del tiempo geológico. Cada uno de ellos dura "sólo" 20 ó 30 millones de años, y va seguido por un período de condiciones climáticas suaves, sin la presencia de grandes masas de hielo (excepto en las

Arriba, reconstrucción del ambiente faunístico de un período glacial, con algunos de los animales más

característicos que lo poblaban. Aparece una forma de pingüino que habitaba las cavernas de las costas del sur de Italia. Hay además

algunas especies animales que viven actualmente en regiones de elevadas latitudes y de clima frío, que recuerdan las

condiciones de las épocas glaciales. Entre ellos están la gamuza, el muflón, la marmota y otros animales de costumbres bastante





parecidas. El *Elephas primigenius*, que apareció durante la glaciación de Riss, alcanzó su máxima difusión durante la

de Würm, pero, al retirarse la cubierta glaciaria, emigró hacia el norte, a Siberia, donde más tarde se extinguió. Abajo, una

foto aérea de Groenlandia muestra una región de la Tierra en la que parece que persisten las grandes glaciaciones

cuaternarias. En realidad, las grandes masas de hielo glaciario pueden subsistir a latitudes tan altas como las de

la Antártida y Groenlandia, tan sólo debido a las condiciones climáticas locales y sin que

intervengan para ello las especiales condiciones que dieron lugar a las glaciaciones cuaternarias.



montañas más altas); los principales períodos glaciales que se han reconocido son, en orden de antigüedad creciente, los que exponemos a continuación.

Período glacial cuaternario: iniciado hace unos 2,5 millones de años y en curso actualmente.

Período permo-carbonífero: iniciado hace 300-280 millones de años; se reconoce sólo en el hemisferio sur y en la India.

Período glacial ordovícico: hace 450-430 millones de años; se observa principalmente en el norte de África, en Arabia y en Brasil.

Período glacial eocámbrico: hace 600-570 millones de años; se encuentra en el norte de Europa, en el norte de África, en Suramérica, en China, en Australia y en la Antártida.

Primer período glacial precámbrico: se encuentran numerosos ejemplos difusos en el tiempo en las más diversas partes del mundo.

La particular distribución de las regiones glaciales permo-carboníferas fue du-

rante mucho tiempo objeto de discusiones entre los científicos, hasta que la teoría de la tectónica de placas puso fin a la controversia. La reconstrucción de la posición de las áreas emergidas en esta época confirma que, efectivamente, la mayoría se encontraba en el hemisferio sur, al alcance de los casquetes glaciares procedentes del polo. El polo Norte se situaría en un área oceánica (hoy en el Pacífico septentrional), por lo que el hielo no dejó trazas visibles.

Las áreas afectadas por el período glacial ordovícico coinciden perfectamente con la posición del polo Sur en esa época, deducida mediante los estudios del paleomagnetismo y que coincidiría con el África noroccidental; mientras que el polo Norte magnético se situaría en el Pacífico meridional. Al abordar el estudio del Eocámbrico y de los períodos glaciales más antiguos, los problemas de reconstrucción aumentan. Parece haber testimonios de estos períodos difusos en todo el mundo, lo que sugiere que las masas de hielo estaban repartidas de modo no totalmente coherente con la teoría de la tectónica de placas.

El geólogo australiano George Williams ha establecido la ingeniosa hipótesis según la cual en aquel tiempo la inclinación del eje terrestre era similar a la del de Urano —es decir, más de 60°—, por lo que tendrían lugar inviernos y veranos que alternaban bruscamente. Dado que el hielo de los inviernos duraría más tiempo (principio del calor latente), se podrían desarrollar al mismo tiempo glaciaciones en todos los continentes. Muchas cuestiones de este tipo respecto a los períodos glaciales permanecen todavía sin respuesta.

Las más espectaculares manifestaciones glaciares tuvieron lugar en el hemisferio boreal, donde el casquete glaciario ártico se unía con las dos grandes masas glaciares continentales. En los esquemas de la izquierda se ilustra el proceso de retirada de los hielos al final de un período glacial, sobre el escudo fino-escandinavo. Arriba, el casquete glaciario alcanza su máxima extensión, llegando hasta Moscú y Varsovia, alcanzando, hacia el norte, el límite de la Rusia blanca con el Océano Glacial

Ártico. En el centro, la capa de hielo glaciario tiene una extensión menor, lo que indica que ha comenzado la fase de retirada, como lo demuestra la acumulación de material morrénico de esta época en Berlín, y su ausencia en Moscú y Varsovia. Abajo, el límite del depósito morrénico del período würmiense alcanza Estocolmo y Helsinki, mientras que el resto de la península escandinava se encuentra ya libre de los hielos; sólo al inicio del período posglacial éstos quedarán acantonados en la parte montañosa de Suecia y Noruega.

Véase Cuaternario; Deriva continental; Erosión; Geofísica; Geología; Geomorfología; Glaciario

Glaciar

Las lenguas de hielo que ocupan los altos valles de la cadena montañosa de los Alpes y los enormes desiertos de hielo que recubren la Antártida representan las dos categorías más típicas de glaciares. La mayor parte de los glaciares alpinos son de pequeña longitud (unos 5 km), aunque en ciertos casos pueden llegar a los 100 km. Los glaciares planos, cuya extensión es en muchos casos enorme, se denominan *casquetes glaciares*, y están en su mayoría situados en la Antártida y en Groenlandia.

Formación de un glaciar ¿Cuál es la causa fundamental de la formación de un glaciar? Inténtese imaginar el inicio de un período glacial, con los inviernos cada vez más largos y los veranos correspondientes cada vez más cortos. Al caer la nieve sobre la superficie terrestre, tiene lugar un profundo cambio climático por la variación en la cantidad de calor solar que retiene nuestro planeta. Debido a la reflexión de la luz por parte de la cubierta de nieve, se pierde mucho más calor del que es disipado, por ejemplo, por una masa boscosa o por la superficie del mar. Este alto poder reflectante de la capa de nieve impide el calentamiento de la Tierra y constituye, de hecho, la causa más patente de una glaciación. La Tierra se vuelve

más fría, las precipitaciones de nieve se extienden hacia latitudes más bajas y el deshielo primaveral se retrasa cada vez más, superponiéndose a veces con las primeras nevadas del otoño. Este es el inicio de una glaciación generalizada.

El clima y los antiguos glaciares En ciertas zonas altas de montaña es posible, en la actualidad, observar el desarrollo del proceso expuesto anteriormente. Cuando la nieve que queda de un año es recubierta por la del año siguiente, comienza a recrystalizar y a endurecerse. La adición de capas de nieve sucesivas durante un prolongado período de tiempo provoca, debido a la carga acumulada, un "aplastamiento" —y "soldadura" entre ellos— de los granos cristalinos. Esto da lugar a la formación de una masa de hielo compacto, capaz de fluir lentamente pendiente abajo, que se denomina *hielo glaciar*.

Algunos científicos estadounidenses, en colaboración con sus colegas daneses, han establecido un amplio programa de estudio para llevar a cabo perforaciones en los casquetes glaciares en distintos puntos de Groenlandia y en la Antártida. Estos investigadores han extraído ya muestras de hielo en las que es posible distinguir el hielo estival del primaveral: así es como se ha podido constatar que

los estratos estivales contienen indicios de ligeras fusiones y sucesivas recrystalizaciones.

Estos testigos de hielo han suministrado también otras informaciones. Así, mediante el empleo de un simple *pehachímetro* (aparato eléctrico para medir la acidez y la alcalinidad de una disolución), diseñado por los daneses, se ha podido localizar niveles ácidos en algunas zonas del hielo analizado. Estos estratos corresponden a capas de cenizas volcánicas que, a causa de grandes erupciones, han sido transportadas alrededor de la Tierra por la circulación atmosférica; su acidez proviene del dióxido de carbono y del dióxido de azufre emitidos al mismo tiempo por los volcanes durante estas erupciones. Contando los niveles de ceniza en una columna de hielo con estratificación anual, se observa que en correspondencia con el año 1816 existe una capa concreta de cenizas que presenta una acidez particularmente extrema. Esto se debe al hecho de que precisamente en ese año tuvo lugar la erupción volcánica más importante de todo el milenio: la de Tambora, en Indonesia. Hicieron falta seis meses para que las cenizas de esta erupción se esparcieran por todo el mundo, viajando por la estratosfera. Esto dio lugar, en América del Norte y en la Europa septentrio-

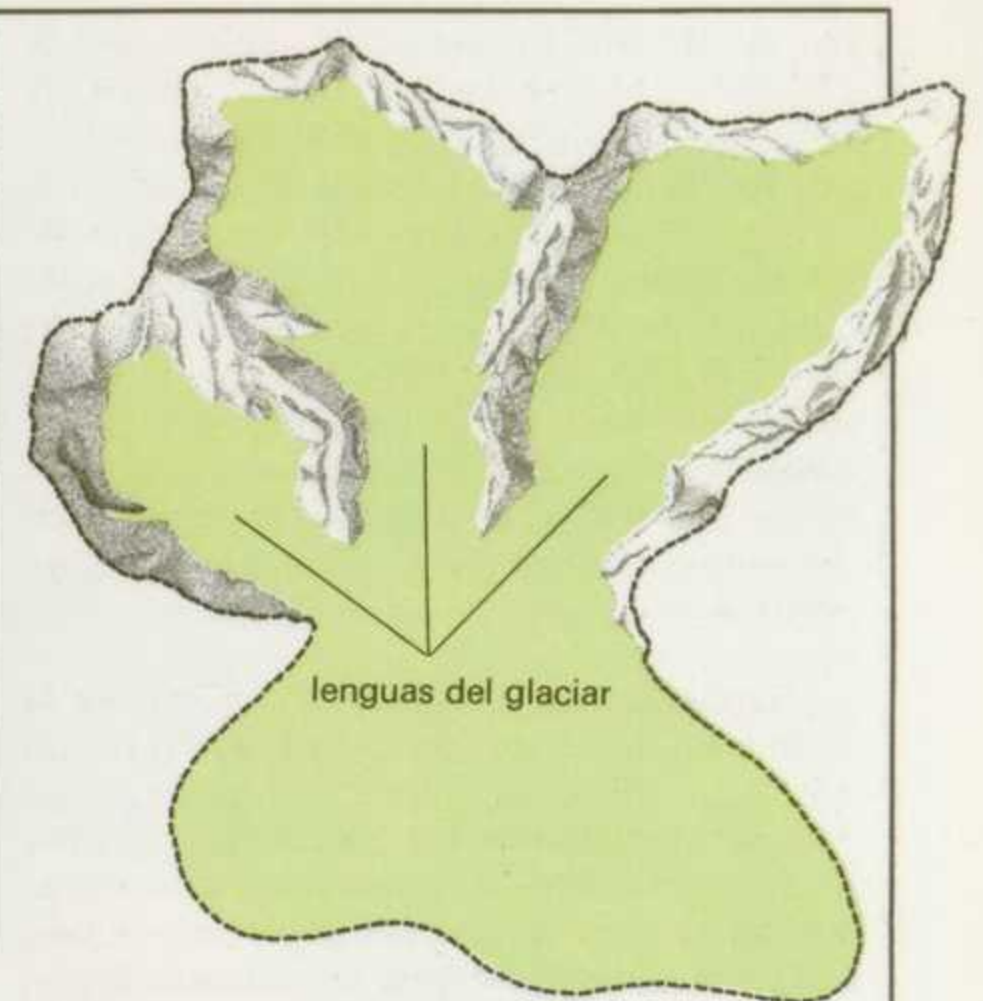


Cuando sobre una montaña la acumulación de nieve invernal es tal que los calores estivales son incapaces de fundirla, se va formando una masa de hielo que se compacta progresivamente, a causa del peso de la nieve suprayacente y del agua que se infiltra al fundirse las capas superficiales y que se hiela en profundidad. Si se está en el límite de la formación de hielo y de su

conservación durante todo el verano, el glaciar resultante es pequeño. Son éstos los glaciares de ladera (esquema inferior). En la foto de la izquierda se muestra un ejemplo de glaciar de ladera en el que se ve en la parte superior la pequeña cuenca de recepción en la que la nieve se comprime para descender seguidamente como hielo con la forma de una pequeña lengua de borde aserrado.

glaciar de ladera





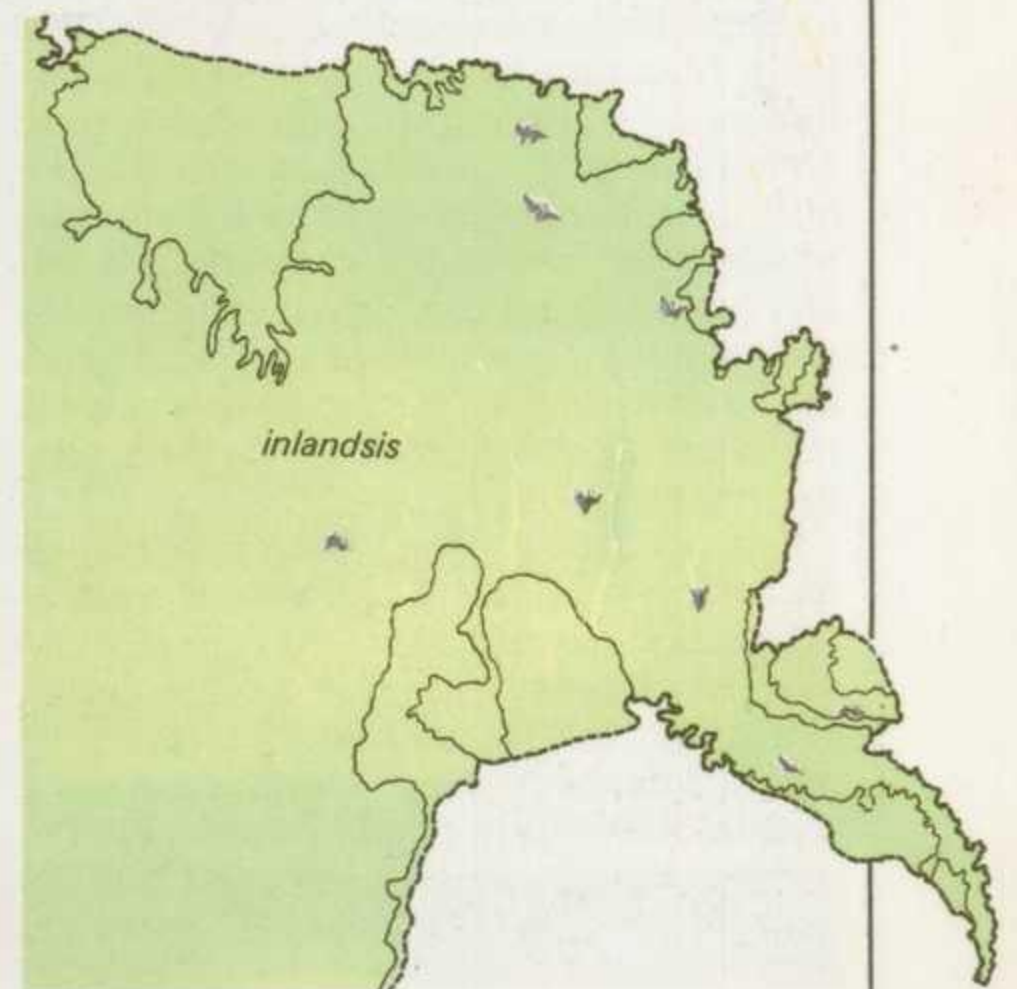
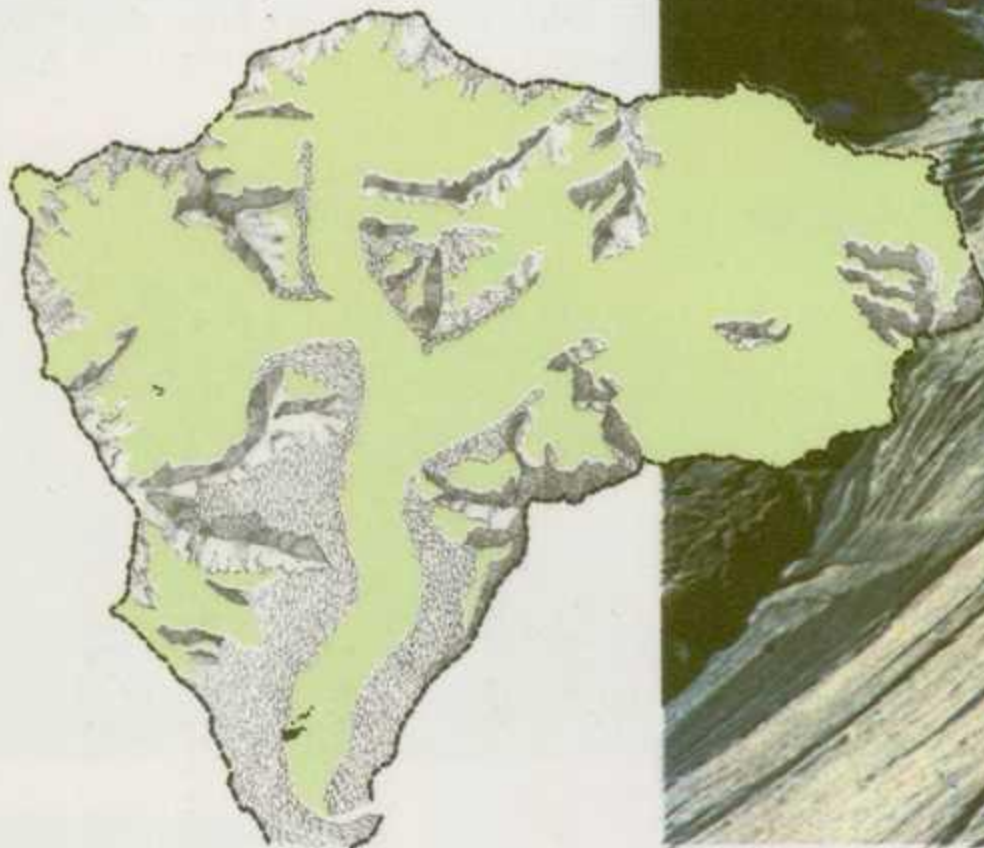
glaciar himalayo

En la foto superior, la larga lengua de un glaciar de Groenlandia. Esta lengua, a la que se unirán otras formando una gran colada, terminará desembocando en una llanura o en el mar, como se ilustra en el esquema sobre estas líneas, a la derecha, que representa una superficie de varios centenares de kilómetros tanto de ancho como de largo. A la derecha, foto y esquema de un glaciar alpino, en el que se ve la lengua que serpentea rodeando los obstáculos constituidos por resaltes rocosos difícilmente erosionables. El esquema abarca una superficie de decenas de kilómetros cuadrados, en la que diversas cuencas de recepción hacen confluir masas de hielo, a una velocidad de algunos metros al año, en una corta

lengua debido a que desciende rápidamente a cotas en las que las altas temperaturas provocan su fusión. Abajo, foto de *inlandsis*, casquete glaciar de la Antártida, y mapa de una parte del continente

recubierto por dos o tres kilómetros de espesor de hielo perenne.

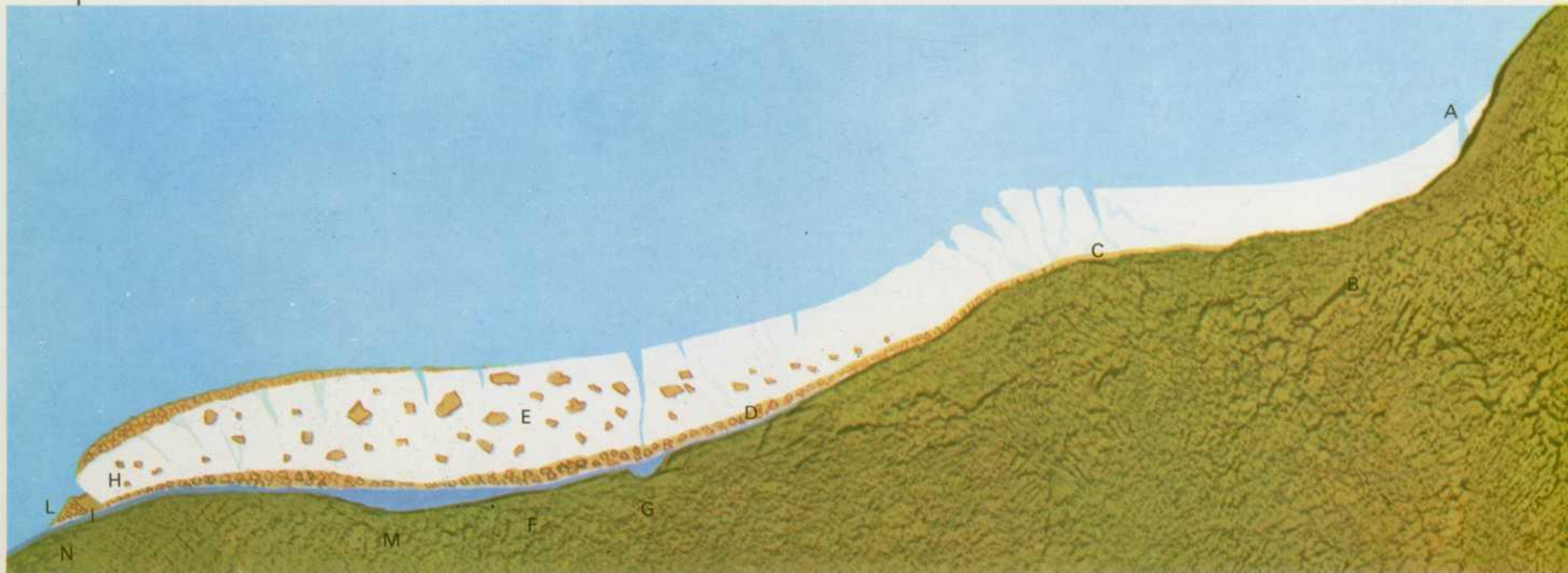
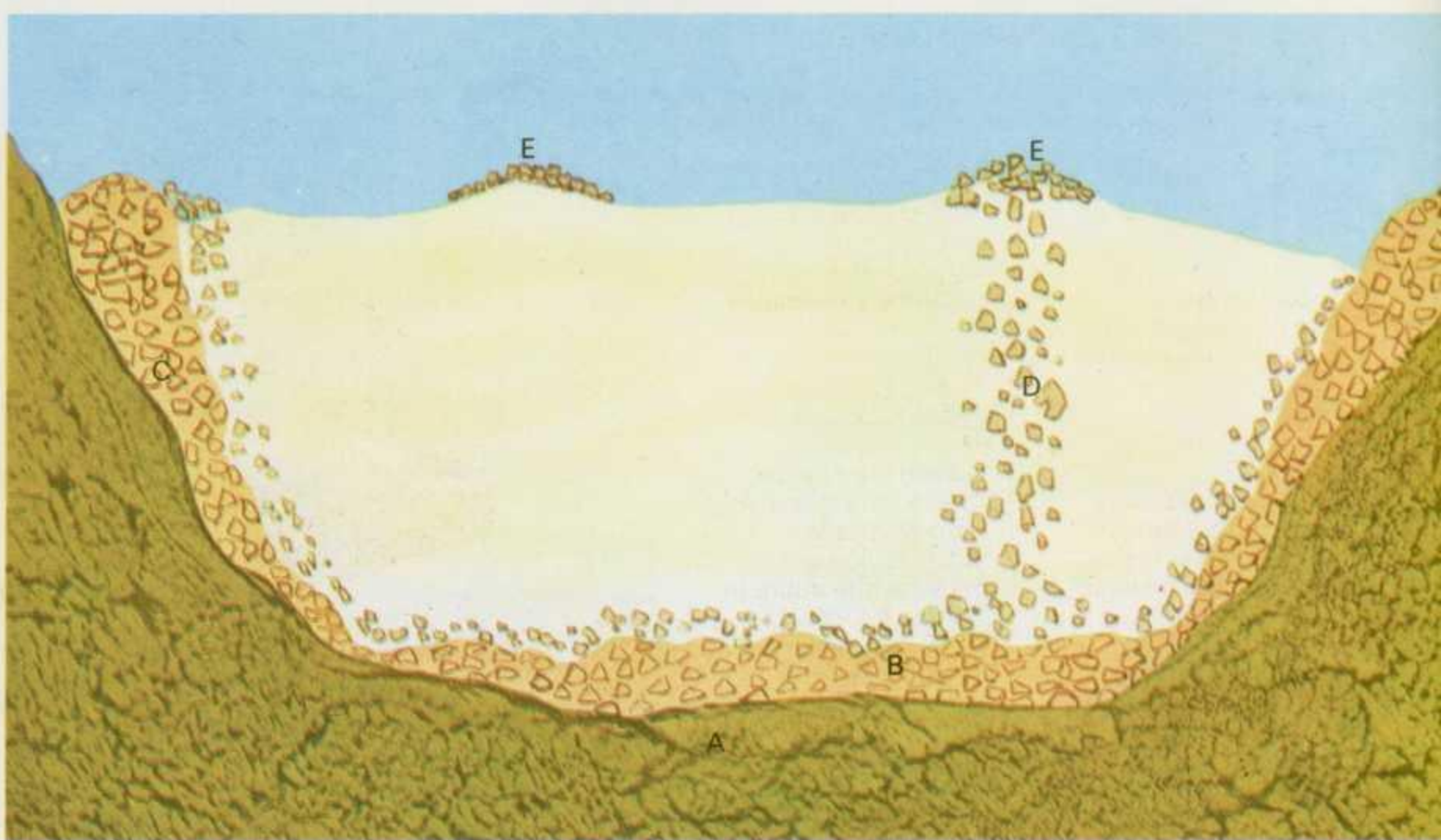
glaciar alpino



nal, a un "año sin verano", en el cual los productos agrícolas se marchitaron en los campos y miles de personas murieron por la consiguiente escasez de alimentos.

Otro dato que analizan los geólogos en las muestras de hielo es la relación entre los isótopos del oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), que proporciona una medida muy precisa de la temperatura del aire cuando el agua se evaporó para transformarse seguidamente en nieve. De este modo, las muestras de hielo extraídas de los glaciares dan una información bastante aproximada sobre la historia climática de nuestro planeta en los milenios precedentes.

El movimiento de los glaciares El hielo que constituye un glaciar es aparentemente muy duro. Sin embargo, bajo la pesada carga de la nieve acumulada encima, adquiere plasticidad y es capaz de fluir lentamente. El movimiento se ve faci-



litado además por las diferencias de temperatura entre la superficie y la base del glaciar. Un grueso casquete glaciar puede llegar a tener un espesor de 2 ó 3 km. La superficie, naturalmente, está muy fría. En la Antártida, por ejemplo, su temperatura es de muchos grados bajo cero, pero en la base la temperatura es más alta debido a la absorción lenta del calor que procede de la roca subyacente. Este hecho contribuye a dar movilidad a la base del glaciar, ya que en algunos puntos puede llegar a fundirse, haciendo que la masa de hielo se deslice como si se moviera sobre patines.

Los glaciares, sobre todo los de montaña, se mueven hacia el fondo del valle. Aquéllos cuyo lecho está mojado se mueven más rápidamente que los que lo tienen seco. De hecho, algunos glaciares prácticamente "corren", desplazándose a una velocidad que puede llegar a los 150 metros por año. Se trata de casos excepcionales, ya que generalmente el avance es de unas decenas de centímetros al año.

Los casquetes glaciares de dimensiones continentales han producido con su enorme peso depresiones en la corteza terrestre, de modo que el lecho de roca en la parte central ha adquirido la forma de un cuenco irregular. A pesar de ello, el hielo continúa moviéndose hacia fuera no ya como un bloque único, sino por planos múltiples, como sucede con una baraja de cartas a la que se empuja desde un lado, y en la que cada carta se desliza sobre la que tiene debajo. En un glaciar de montaña la velocidad de movimiento más alta se encuentra de hecho en la parte más elevada de la masa helada; la base es retenida por el roce contra el lecho rocoso subyacente. Más exactamente, la parte alta se desliza sobre la intermedia, que a su vez se mueve sobre la inferior.

La dinámica del avance de un glaciar constituye un interesante tema de estudio en sí mismo (la Glaciología). El mecanismo es más fácil de estudiar en los pequeños glaciares de montaña, donde, cuanto más se asciende, más consistente es la



En la página anterior, arriba, sección transversal de un glaciar efectuada a nivel de la lengua.

A) cauce excavado en la roca compacta; B) morrena de fondo de material incoherente;

C) morrenas laterales; D) morrenas móviles de material incoherente englobadas en la masa de hielo en movimiento;

E) morrena flotante y apoyada sobre la superficie del hielo formada por material fragmentario e incoherente caído de las paredes del valle.

En el centro, sección longitudinal del glaciar, en la que A) es la grieta terminal, o rimaya, de la cuenca de recepción de la nieve, donde ésta empieza a compactarse y a fluir hacia abajo;

B) sección longitudinal a través del cuenco y el cauce glaciar;

C) sección del curso glaciar correspondiente al primer escalón;

D) parte alta de la morrena de fondo, en la cual se acumulan fragmentos de roca que han sido excavados del cuenco;

E) fragmentos rocosos de una morrena mediana que se forma a menudo por la confluencia de dos glaciares; F) torrente de fondo que recoge todo el agua procedente de la fusión del glaciar y que desciende a través de sus fracturas;

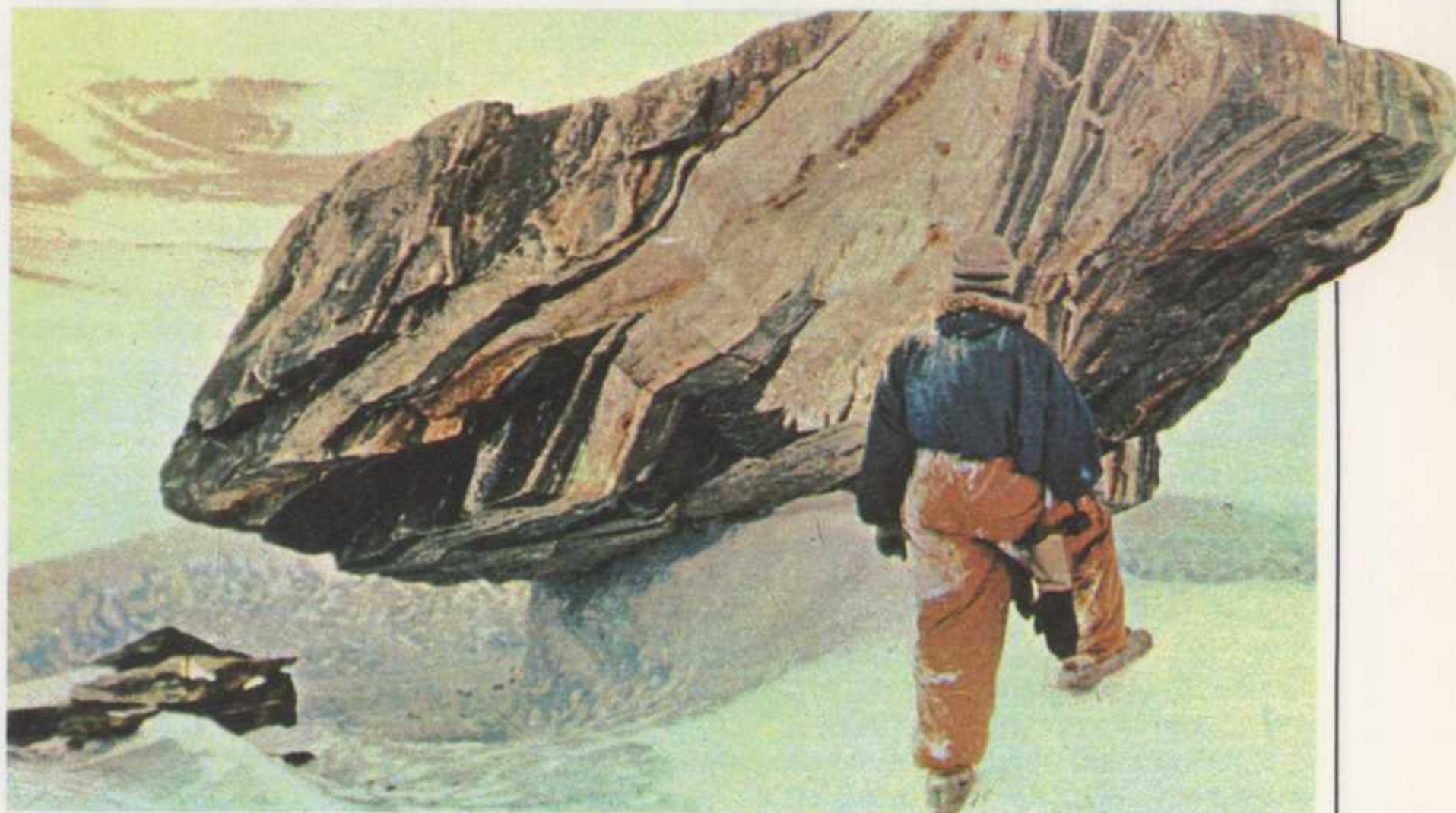
G) marmita glaciar que se forma por la acción turbulenta de las

aguas del torrente de fondo; H) lengua glaciar terminal que, al descender hacia cotas más bajas, funde rápidamente, acumulándose en su superficie las piedras de las morrenas flotantes y medianas que terminan recubriéndola totalmente;

I) desembocadura del torrente de ablación (fusión) del hielo; L) morrena terminal formada por la acumulación del material que cubre la lengua terminal;

M) depresión formada por la erosión glaciar que en caso de retirada del glaciar formará un lago de origen glaciar;

N) torrente alimentado por el glaciar. Abajo, zona de "seracs" de un glaciar causada por un brusco cambio de pendiente. A la derecha, arriba, bloque errático; una gran piedra de cantos angulosos, casi siempre de aristas vivas, que el glaciar ha arrastrado a una gran distancia, abandonándola en medio de un paraje cuyas rocas son a veces de naturaleza muy diferente. En este caso se trata de una roca de la Antártida, que ha recorrido tal vez centenares de kilómetros. Y debajo de ella, una pequeña lengua glaciar que apenas llena el fondo de un valle. Este ha sido erosionado por un glaciar que ha llegado a ocupar el valle en cuatro ocasiones.



nieve que cae y más baja la temperatura. La parte alta del glaciar es la verdadera zona de acumulación de la nieve. Hacia el valle la temperatura aumenta y las precipitaciones son de lluvia, lo que favorece la fusión del hielo. Entre estos dos extremos se encuentra una zona de equilibrio, un punto en el que no se producen variaciones de ningún tipo.

Los glaciares que desembocan en el mar o en un lago provocan la formación de *icebergs* al desplomarse el frente de la corriente helada al llegar al agua. Los glaciares de montaña que desembocan en el mar o los glaciares de valle procedentes de los casquetes de Groenlandia tienden a partirse en *icebergs* relativamente pequeños (aunque lo bastante grandes como para ocasionar el naufragio de un transatlántico como el *Titanic*, que se hundió en el año 1912 con 1.513 personas a bordo). Por el contrario, los grandes casquetes glaciares de la Antártida, cuando llegan al mar, se fragmentan en bloques tabulares muy extensos, de centenares de

kilómetros, que quedan flotando en el océano.

Glaciares y nivel del mar El efecto de los glaciares sobre el nivel del mar constituye un tema de notable interés. Después de evaporarse en los océanos, el agua vuelve a caer en forma de precipitaciones sobre la tierra, de las cuales una parte es nieve, que seguidamente funde y retorna al mar. Pero durante un ciclo frío, o una época glacial, el equilibrio global se altera. El hielo queda sobre la tierra y el nivel del mar desciende. Estos movimientos de ascenso/descenso del nivel del mar se llaman *eustáticos*. El descenso eustático, durante la última glaciación fue de unos 120 metros. Si los hielos de la Antártida se fundiesen en nuestra época, el nivel del mar crecería unos 60 metros. Durante este siglo, el nivel del mar ha subido a un ritmo de 1-2 mm al año.

Véase **Glaciaciones**

Glándula

Al hombre le "hacen la boca agua", al pez le permiten tener una piel viscosa, permiten a la araña producir su tela, a las flores el néctar y a los pinos la resina. Las *glándulas* son pequeños y sorprendentes órganos que producen y segregan sustancias de todo tipo, desde las más simples, como el sudor y las lágrimas, hasta las más complejas, como las hormonas, reguladores del misterioso equilibrio biológico de las células.

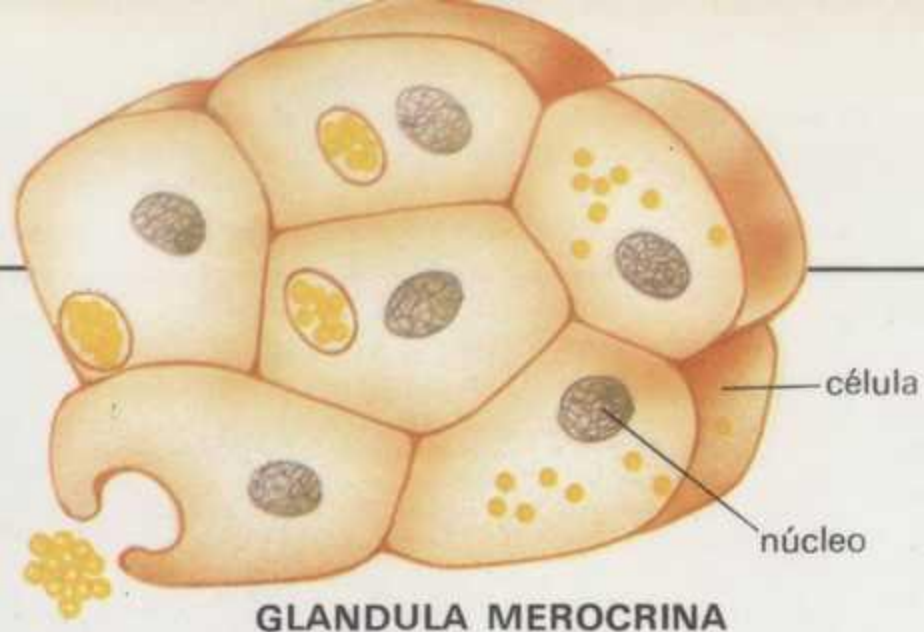
Una glándula puede estar constituida por una sola célula, como las glándulas existentes en el intestino humano que producen el moco; o bien por un complicado sistema de conductos que se unen y desembocan en el exterior a través de la epidermis. En los tipos más complicados, conglomerados de células producen la secreción y un conducto o un sistema de conductos la transporta al exterior.

En el hombre las glándulas provistas de conductos se denominan *exocrinas*. A este grupo pertenecen las glándulas salivales, las lagrimales y las sebáceas de la piel y del cuero cabelludo. Las glándulas exocrinas, en general, son pequeñas y muy numerosas.

Glándulas de secreción interna Existe un grupo de doce glándulas privadas de conductos excretores que vierten directamente su secreción en el torrente sanguíneo. Estas glándulas constituyen el *sistema endocrino* que, junto con el sistema nervioso, regula y coordina ciertas actividades del organismo, tales como el metabolismo y el crecimiento. La regulación de todas estas glándulas está desempeñada por una región del cerebro denominada *hipotálamo*. Situado precisamente encima de la glándula hipofisaria, del tamaño de un guisante, el hipotálamo representa un papel clave en el mecanismo de producción de muchas hormonas.

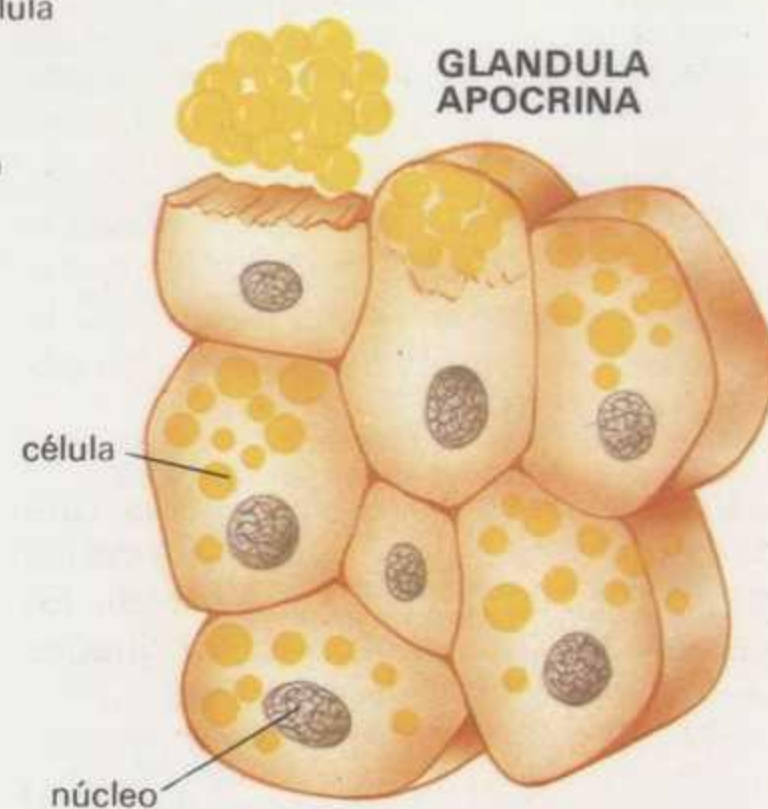
La acción de las hormonas es "amplificada" en el organismo a través de un complejo sistema de "relé amplificador", que permite que cantidades mínimas de sustancias actúen con extraordinaria eficacia y precisión. De esta manera se viene a crear una serie de "estaciones", que permiten desencadenar complejas series de acciones y reacciones (fenómenos llamados de *feedback*, positivos y negativos) que hacen posible a las glándulas "diana"—es decir, las que reciben los mensajes hormonales de la hipófisis (e, indirectamente, del hipotálamo)—la interacción con la glándula principal, de modo que ambas se articulan flexiblemente y pueden modular perfectamente la acción global del sistema endocrino.

La estructura arriba descrita, tan íntimamente correlacionada, influye de manera sustancial en el comportamiento del individuo, ya sea en sus respuestas hacia el ambiente (algunas hormonas condicionan, en efecto, nuestra capacidad para reaccionar evitando o afrontando eventuales peligros) o bien en el equilibrio de la actividad del ambiente en el interior de nuestro organismo.

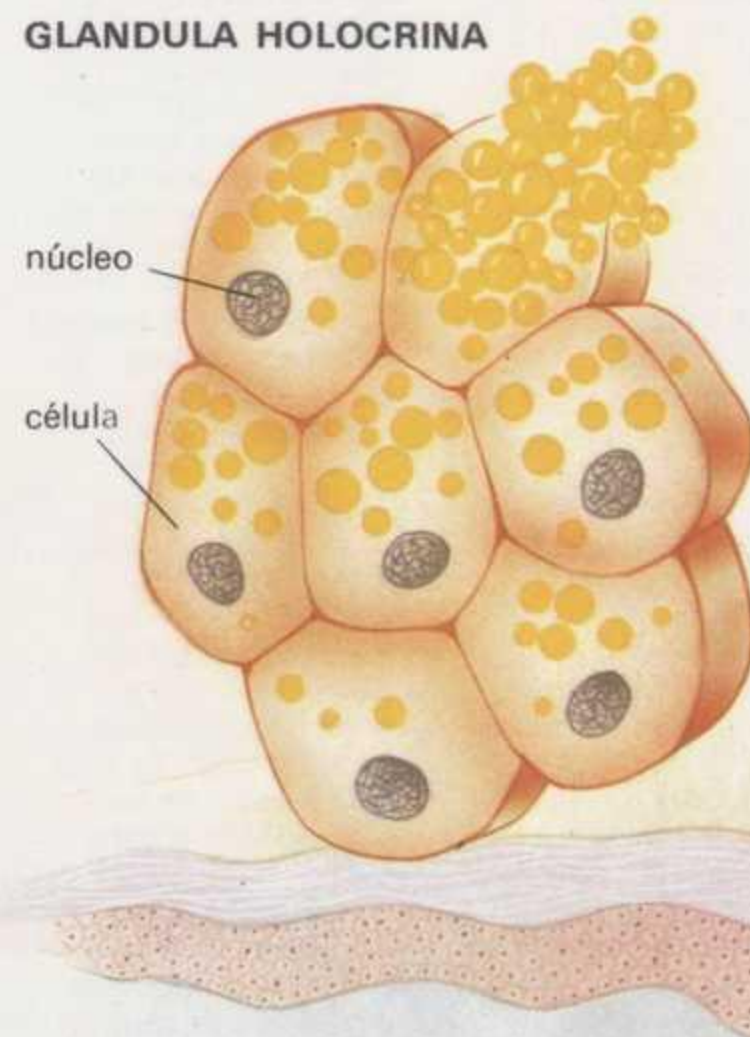


Las glándulas son los órganos especializados en la función de la secreción. Se pueden diferenciar las glándulas de secreción interna (que constituyen el sistema endocrino) y las glándulas de secreción externa, es decir, exocrinas, de las que apreciamos aquí algunos ejemplos: arriba y a la izquierda observamos una glándula merocrina, en la que la secreción se libera de la célula que permanece

constantemente íntegra; a la derecha se representa una glándula apocrina: en este caso la secreción se acompaña de la pérdida de parte del citoplasma; luego, debajo aparece una glándula holocrina, que se autodestruye cuando la secreción es eliminada. Abajo, microfotografía de una sección del intestino grueso, en la que resultan evidentes las glándulas del colon con estructura tubular simple.



GLANDULA HOLOCRINA



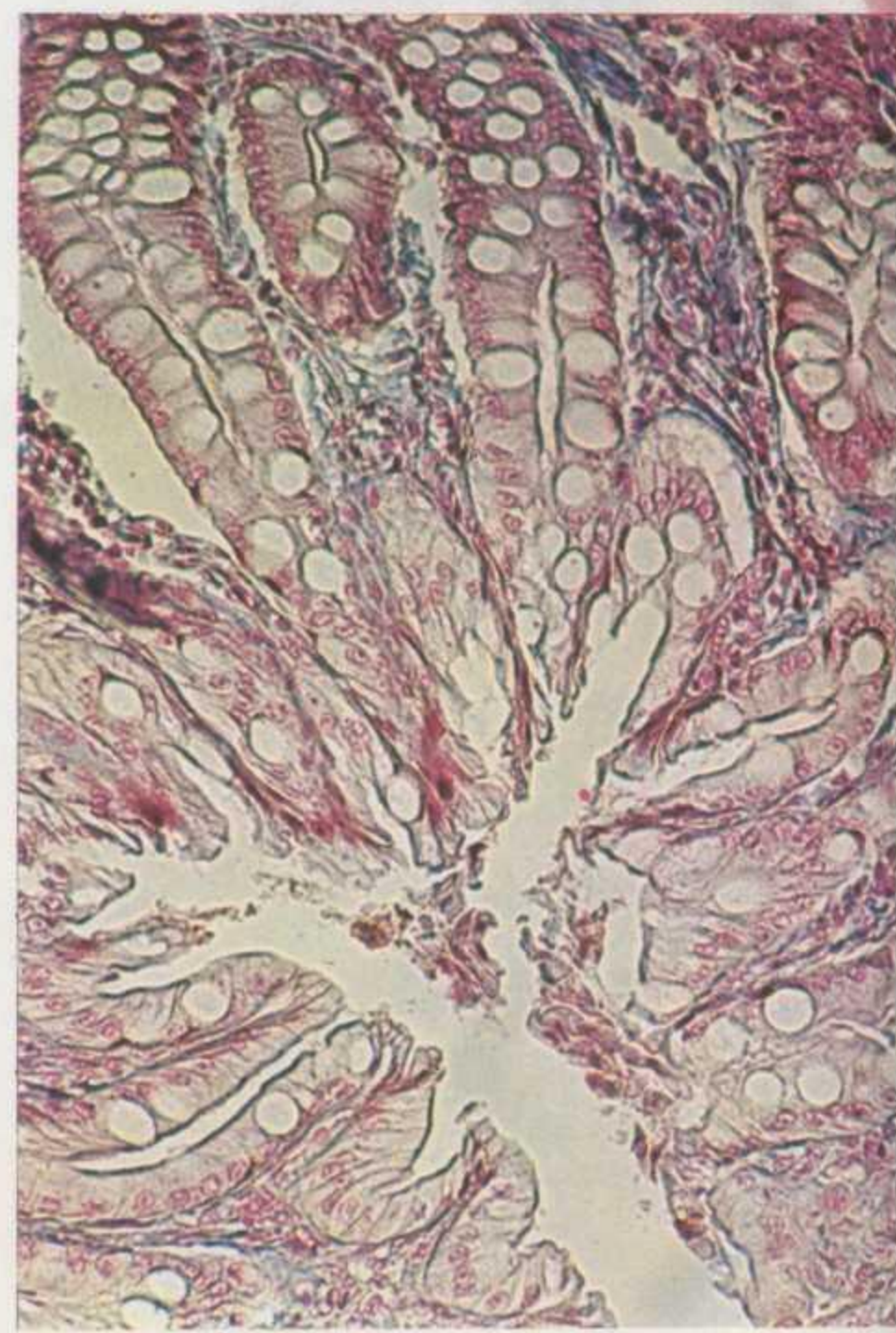
La *glándula pituitaria*, o *hipófisis*, que con frecuencia se considera la glándula principal, produce las hormonas que estimulan el crecimiento, la maduración de los órganos sexuales y las hormonas que tienen como función la coordinación de las actividades de otras glándulas endocrinas. A través de un mecanismo de retroalimentación (*feedback*) se llevan a cabo regulaciones muy precisas en la producción y en la circulación de estas hormonas por parte de los órganos "diana" que transmiten mensajes a la glándula pituitaria propiamente dicha y también al hipotálamo que la controla.

La *glándula tiroides*, situada en el cuello, regula la velocidad de las reacciones químicas de las células y, además de regular el nivel de calcio en la sangre, interviene en el crecimiento, el metabolismo y el desarrollo corporal. Las *paratiroides*, glándulas más pequeñas situadas cerca del tiroides, mantienen normal la concentración de calcio y de fósforo en los tejidos.

Las *gónadas*, u órganos reproductores, testículos en el varón y ovarios en la mujer, están consideradas como glándulas mixtas, debido a que producen una secreción que recorre conductos propiamente dichos y hormonas que son difundidas a la sangre. Estas últimas determinan el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, como por ejemplo el pelo de la barba. Las *glándulas suprarrenales*, situadas encima de los riñones, segregan un gran número de hormonas, entre las que se encuentra la adrenalina, que pone en marcha un estado de alarma en nuestro cuerpo durante los momentos de *stress* y en situaciones de emergencia.

El *timo*, una glándula situada en el tórax, desempeña una función muy importante en la puesta a punto de los mecanismos inmunitarios.

Una parte del *páncreas*, en concreto los grupos de células denominados *islotas de Langerhans*, segrega insulina y glucagón,



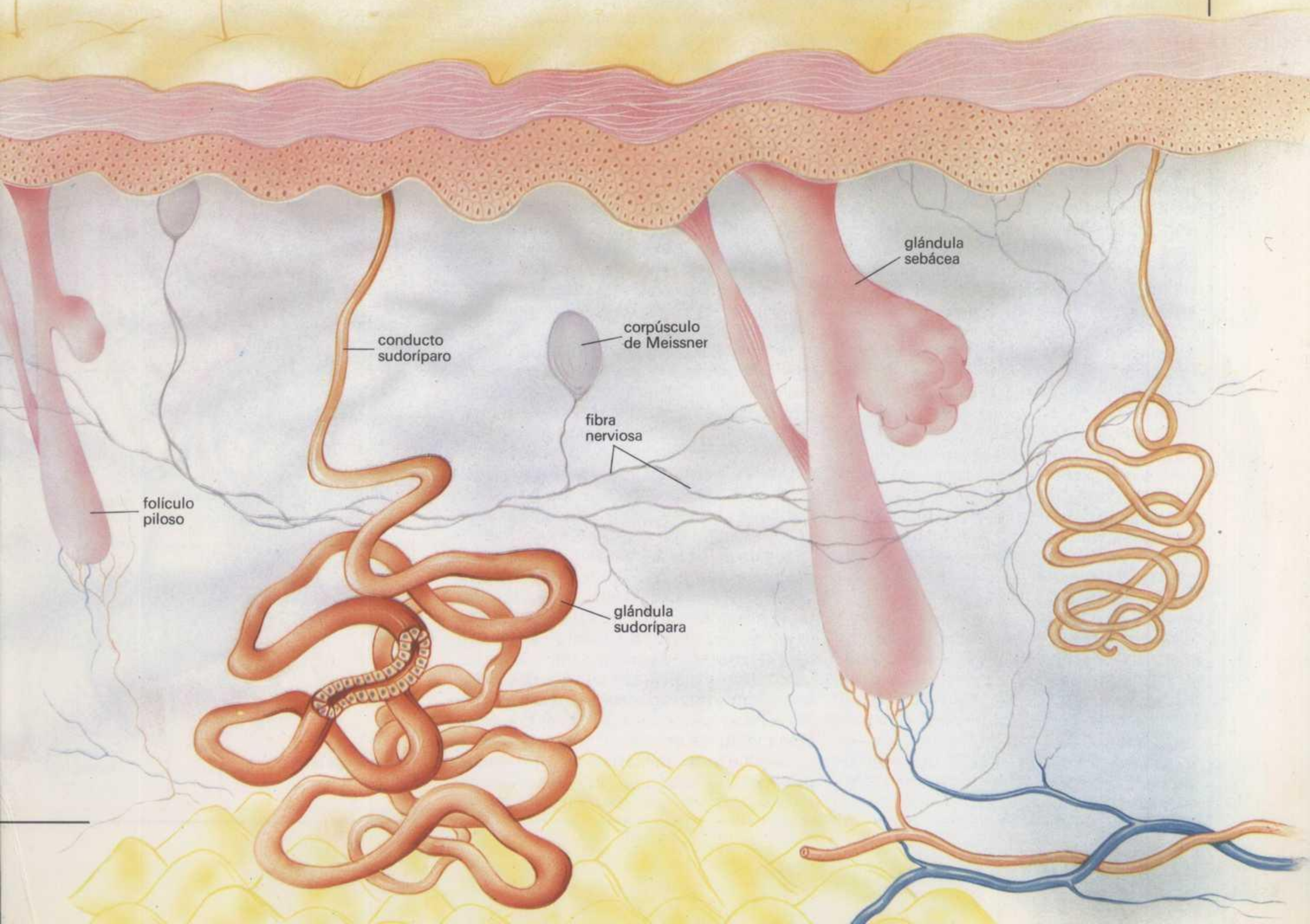
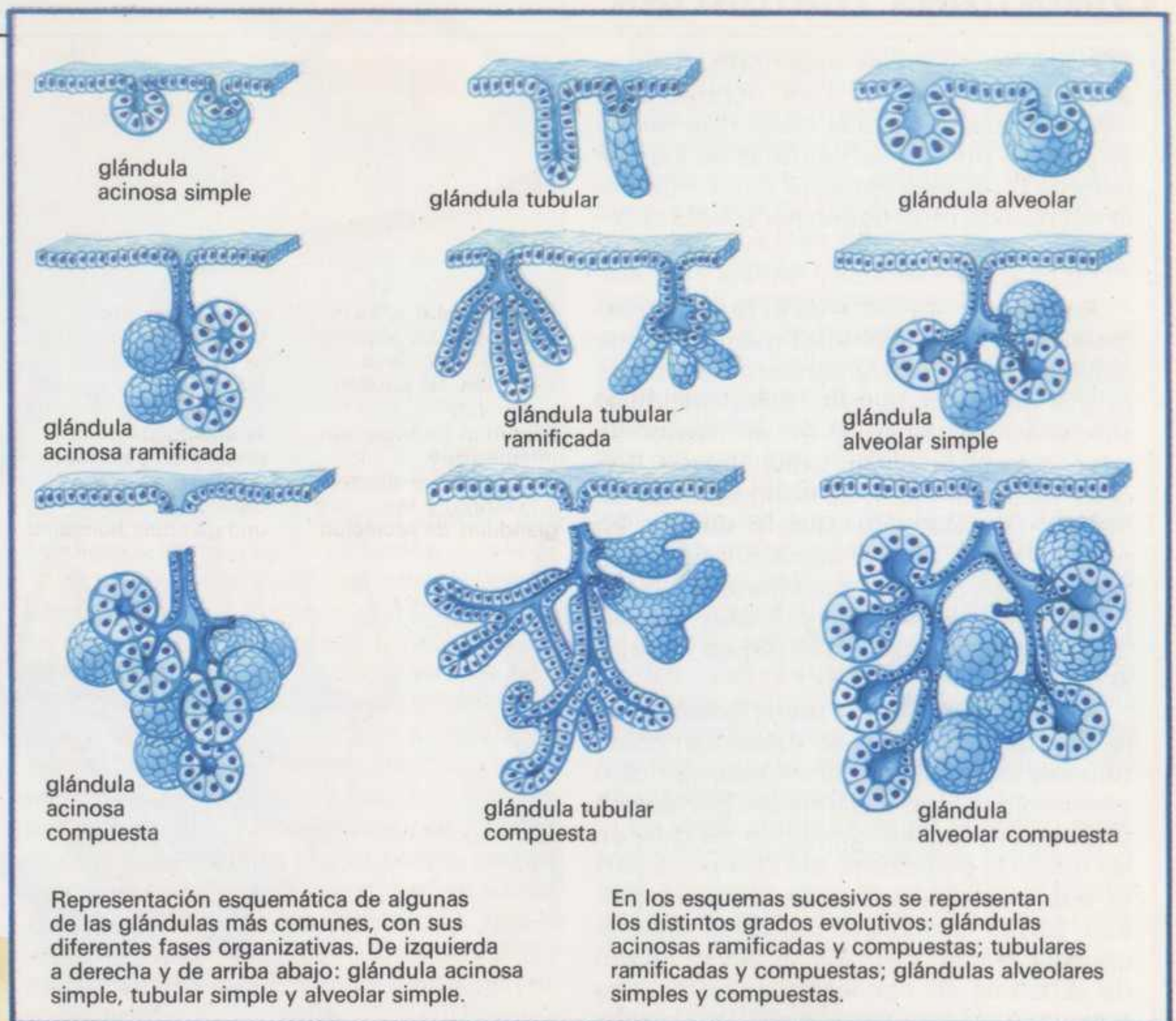
hormonas que regulan la concentración de azúcar en la sangre.

Glándulas especiales Existen, aparte de las mencionadas, glándulas denominadas *citogénicas*, que producen nuevas células. Entre ellas encontramos las *gónadas* (que "fabrican" los espermatozoides y los óvulos), el *bazo*, los *ganglios linfáticos* y la *médula ósea*, de la que se originan las células de la sangre.

En el mundo animal existen glándulas exocrinas especializadas, como las que producen la cáscara de los huevos de las aves y el capullo del gusano de seda. En la piel de los peces existen pequeñas glándulas, constituidas por una sola célula, unidas a otras más grandes, llamadas por su forma *células en clava*, que segregan el moco, de olor muy intenso. También los anfibios, como los tritones y las salamandras, poseen glándulas que producen moco y sustancias venenosas.

Las aves marinas y los reptiles están dotados de glándulas compuestas, de forma tubular, situadas cerca de los ojos, llamadas *glándulas de la sal*, dado que su función es eliminar el exceso de sal acumulado al beber agua marina o nutrirse de determinados alimentos.

Véase **Endocrino, sistema; Hormonas**



Glándulas mamarias

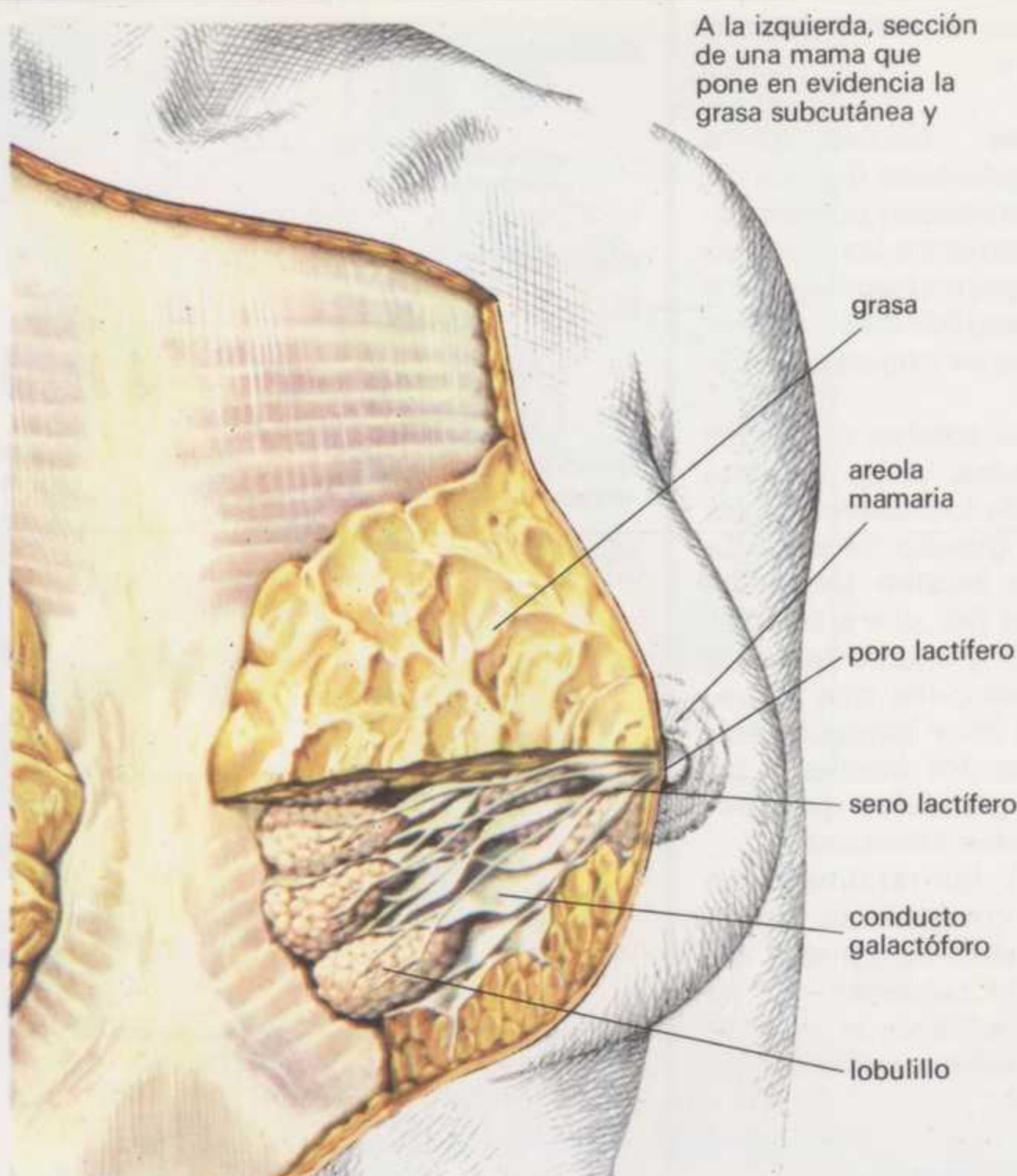
Entre los animales superiores, los mamíferos son los que durante más tiempo alimentan a sus crías. Este hecho es posible porque las hembras de los mamíferos producen leche, el único nutriente del que las crías tienen necesidad al comienzo de su vida.

Anatomía La leche es el producto segregado por las glándulas mamarias, que constituyen una característica fisiológica propia de los mamíferos. Estas glándulas se encuentran situadas en el interior de unos órganos denominados *mamas*. Las crías toman la leche directamente de las mamas, que siempre están presentes en número par, si bien el número total es variable en los distintos mamíferos. En la especie humana y en los primates existen dos mamas, situadas en la región anterior al tórax.

Habitualmente, en la mujer sexualmente madura las mamas se presentan como relieves cutáneos de forma hemisférica o semiovoidal, algo deformados por acción de la gravedad, en el sentido de que, en las distintas posiciones del cuerpo, la parte que cae hacia abajo tiende a adoptar una forma convexa, mientras que la opuesta tiende a aplanarse. En el centro de la mama se encuentra el *pezón*, una elevación cutánea dura, rosada, cilíndrica o cónica, con un diámetro en su base de unos 8 a 15 milímetros, y una altura de aproximadamente un centímetro. El pezón está rodeado por la *areola*, pequeña área cutánea circular de 3-4 centímetros, algo áspera y rugosa.

En la mujer adulta, la prominencia del seno no sólo está constituida por la glándula mamaria propiamente dicha, sino también por tejido conjuntivo y graso que, en la mujer no embarazada, determinan las dimensiones, la consistencia y la forma del órgano. En las hembras del caballo, asno, ciervo y ballena las mamas se encuentran situadas en el abdomen, cerca de las extremidades posteriores o, en el caso de la ballena, en la proximidad de la cola. El tenrec, un mamífero estrechamente relacionado con el erizo y que habita en Madagascar, posee el número más alto de glándulas mamarias que se conoce: once pares.

Cada una de las mamas está constituida por una veintena de lóbulos, separados unos de otros por tabiques de tejido conjuntivo. Cada lóbulo está formado, a su vez, por un conjunto de numerosos lobulillos, los cuales, por su parte, están constituidos por un conglomerado de ácinos glandulares. Las células que revisten estos ácinos tienen la propiedad de segregar la leche cuando se someten al influjo determinado por ciertas condiciones hormonales. La leche producida por los ácinos de cada lobulillo es recogida por un túbulo denominado *conducto lobulillar*, el cual confluye con los conductos procedentes de los otros lobulillos del mismo lóbulo, dando así origen a los *conductos galactóforos*. Estos se dirigen hacia el pezón, en cuya base presentan una dilata-



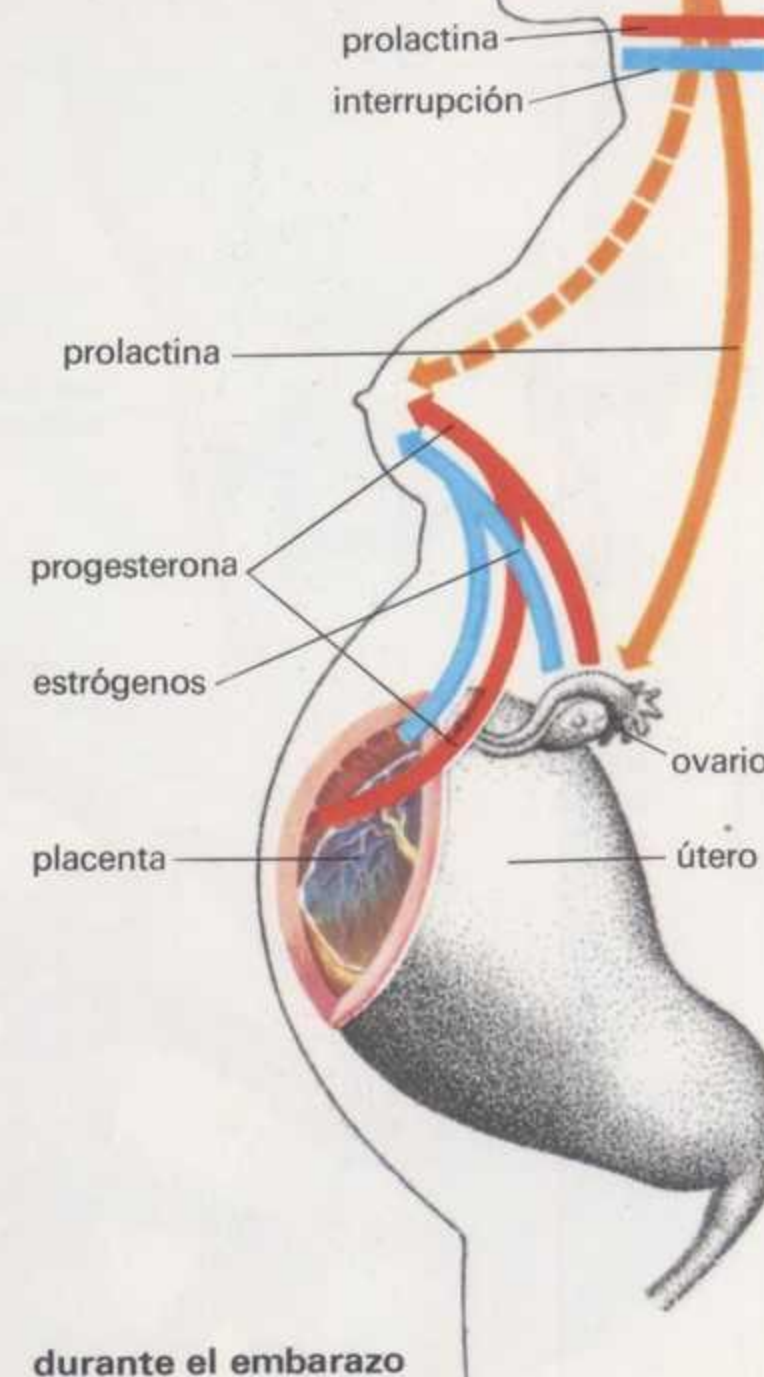
algunos de los lobulillos de los que está constituida. En el esquema de la página siguiente (arriba), fases del desarrollo de la mama en las diversas edades, y las hormonas que influyen en cada proceso. El esquema bajo estas líneas ilustra la acción de los estrógenos y de la progesterona —producidos por el ovario y por la placenta durante el embarazo— sobre el desarrollo de las mamas, y cómo estas mismas hormonas impiden que la prolactina producida por la hipófisis estimule la producción de leche. En la página siguiente, abajo a la izquierda, acción de la prolactina sobre la mama sin la interferencia de estrógenos y progesterona. Su producción está estimulada por la succión del pezón por parte del recién nacido, a través de un reflejo nervioso. A la derecha, estructura de la mama.

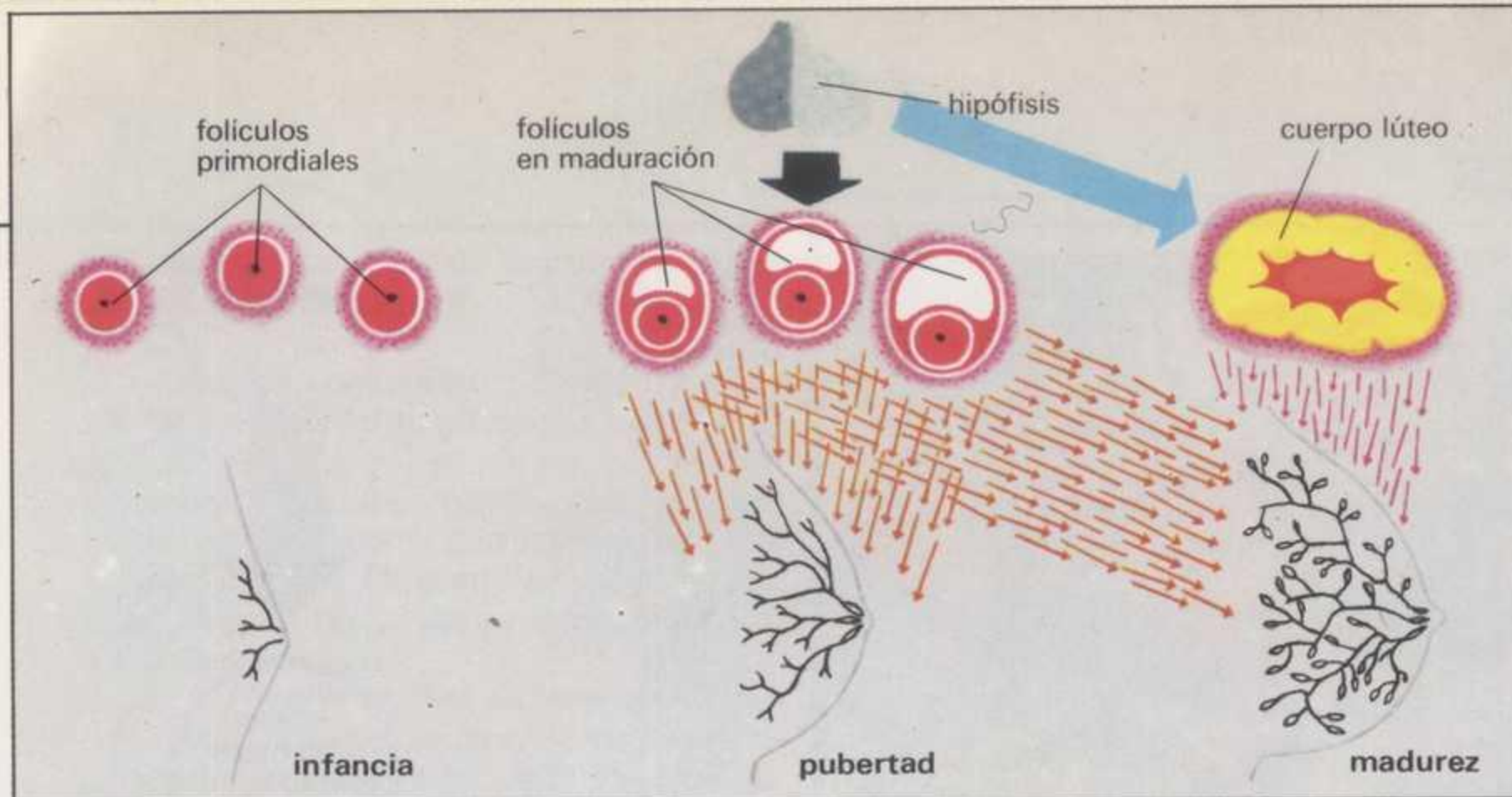
ción, el *seno lactífero*, que se continúa con el *conducto excretor*, el cual comunica con el exterior en la propia superficie del pezón, formando el *poro lactífero*. Estos poros se encuentran en número aproximadamente igual al de los lóbulos que constituyen la glándula mamaria (algunos conductos excretores, de hecho, pueden confluir entre sí antes de desembocar en el exterior). Por debajo de la piel del pezón se encuentran unas fibras musculares, cuya contracción, que es independiente de la voluntad, determina el alargamiento del pezón y puede tanto exprimir el contenido de los túbulos como cerrar los orificios de los mismos, actuando como un auténtico esfínter.

En la mujer, durante la lactancia, el pezón se endurece y se torna turgente, de manera que el niño pueda realizar la succión más fácilmente. En la areola —la parte de la piel más oscura que rodea al pezón— existen unas glándulas que proporcionan la lubricación adecuada de la zona para aliviar las sensaciones dolorosas de la madre durante la lactancia.

Lactancia La lactancia, es decir, la secreción de leche por las mamas, comienza poco después del parto y está regulada por ciertas hormonas. En la mujer, durante el embarazo, las mamas aumentan de volumen y el peso de cada una de las glándulas se puede incrementar hasta los 450 gramos en respuesta a la elevación de los niveles hormonales en la sangre, principalmente de estrógeno, progesterona y prolactina. Los estrógenos y la progesterona se producen en la placenta y en el ovario; los primeros estimulan el creci-

Estrógenos y progesterona actúan sobre el desarrollo de la mama e impiden a la prolactina producida por la hipófisis la estimulación de la secreción.





miento de los conductos y lóbulos de las glándulas mamarias; la progesterona hace madurar las células situadas al final de los conductos, de modo que sean capaces de producir la leche. La prolactina, producida por la hipófisis, es la más importante de las hormonas que influyen en la producción de la leche. Se piensa que los altos niveles de estrógeno y progesterona en la sangre impiden la secreción de leche durante el embarazo. Después del parto, cuando la placenta —productora activa de hormonas— es expulsada, tiene lugar un descenso de los niveles de estrógenos y progesterona. Ello permite que la prolactina pueda estimular la producción de leche. Existe también un incremento de

hormonas adrenérgicas en la sangre, que se piensa favorecen la lactación.

La succión del pezón es otro de los estímulos capaces de provocar la lactación. La estimulación del pezón no sólo induce la secreción de prolactina, sino que también actúa de modo que la hipófisis produzca otra hormona, llamada *oxitocina*. La oxitocina favorece la contracción de los músculos de la glándula mamaria, los cuales hacen que la leche salga por los conductos y finalmente por el pezón. La prolactina y la oxitocina desempeñan un papel tan importante en la lactación, que la succión puede dar lugar a lactación incluso en mujeres que no hayan tenido un parto reciente.

En algunas mujeres el *stress* puede provocar dificultad en la lactación. Aunque los científicos no han comprendido aún completamente el motivo de este fenómeno, parece ser que estímulos de índole psíquica pueden influir en la liberación de hormonas. La falta de prolactina y de oxitocina se puede remediar con la administración de estas hormonas.

El período de lactancia varía según las especies. Las ballenas dan de mamar a sus crías durante unos 7 meses; los ciervos, unos 8 meses; las yeguas, unos 4; y los perros, un mes aproximadamente.

No todas las mujeres eligen dar de mamar a sus hijos, si bien la leche materna contiene importantes anticuerpos y confiere por lo tanto sustanciales beneficios inmunológicos al niño. La lactación materna puede ser desaconsejable para una madre que trabaje durante la jornada completa, aunque según las estadísticas estadounidenses el número de mujeres que deciden dar de mamar a sus hijos está en continuo aumento.

La leche materna es un alimento completo, fácilmente digerible e higiénico, y está probado que la lactación favorece una unión más intensa y feliz entre la madre y el recién nacido.

Véase **Glándula; Hormonas**

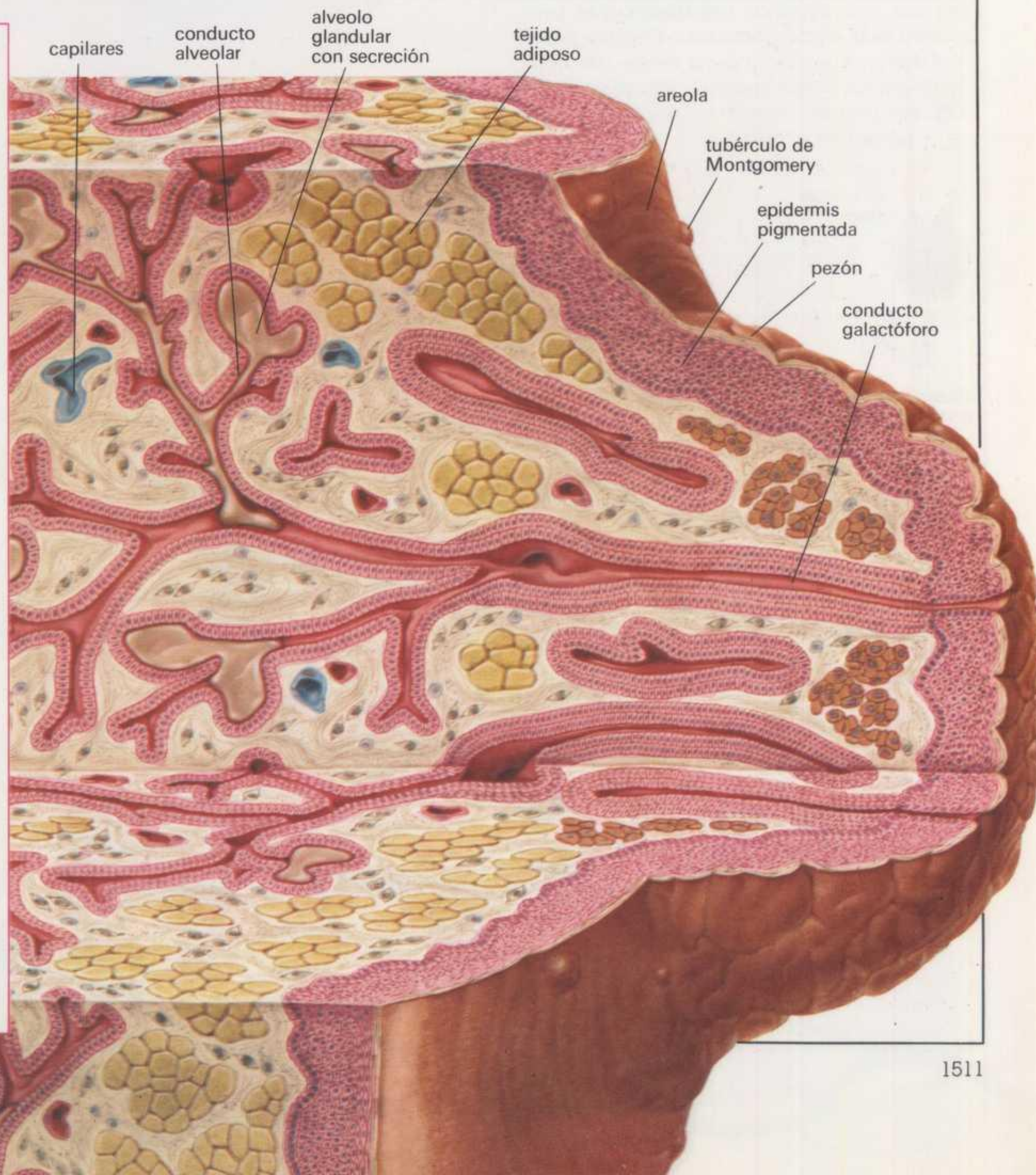
producción de prolactina estimulada a través de un reflejo nervioso

prolactina

succión

reflejo nervioso

después del parto

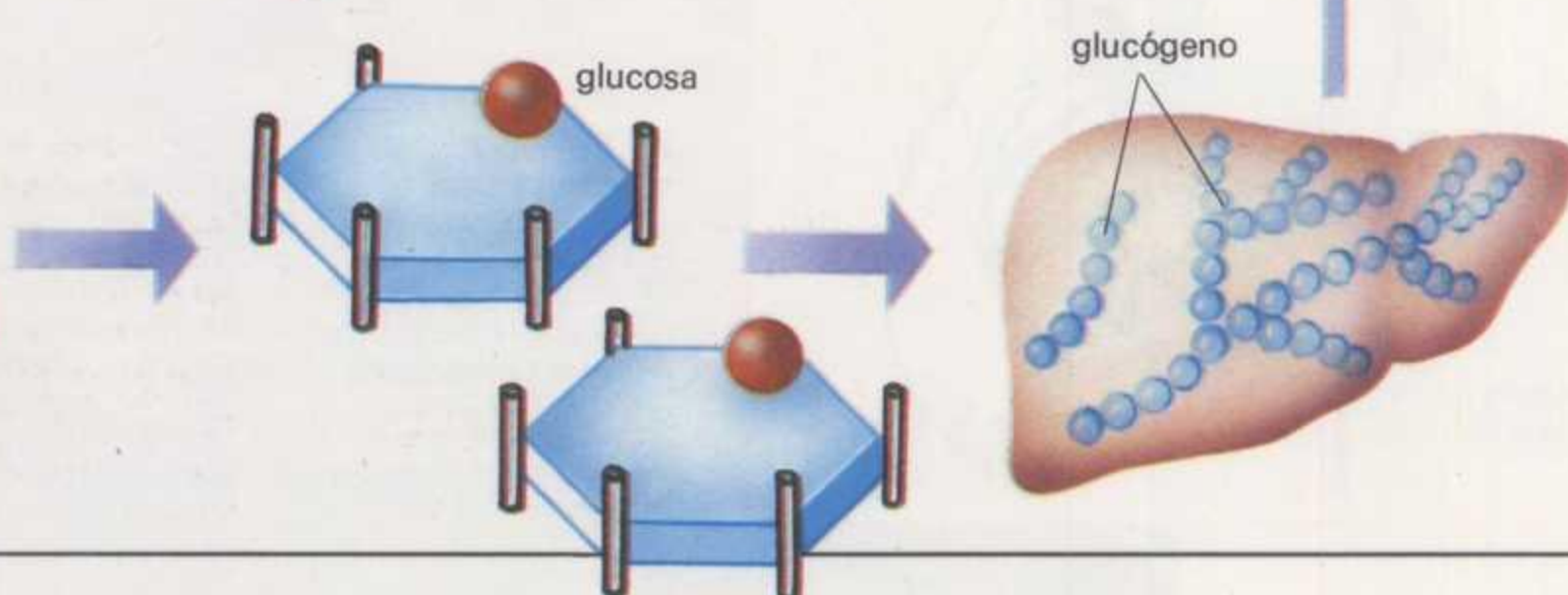
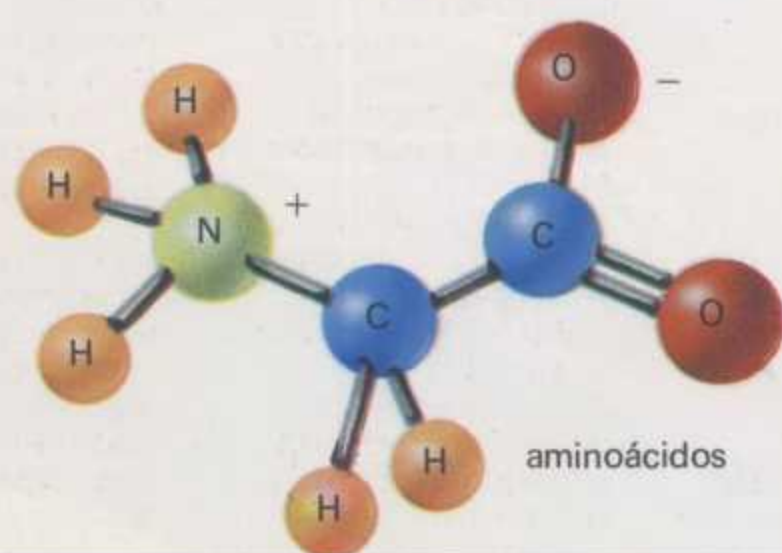
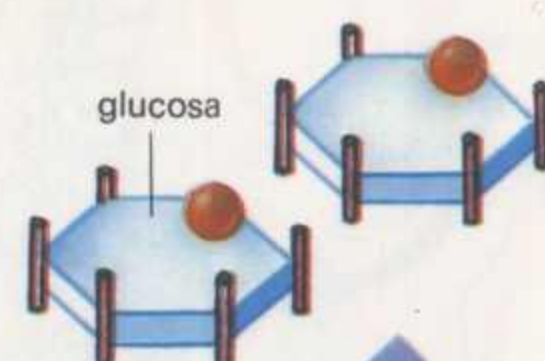
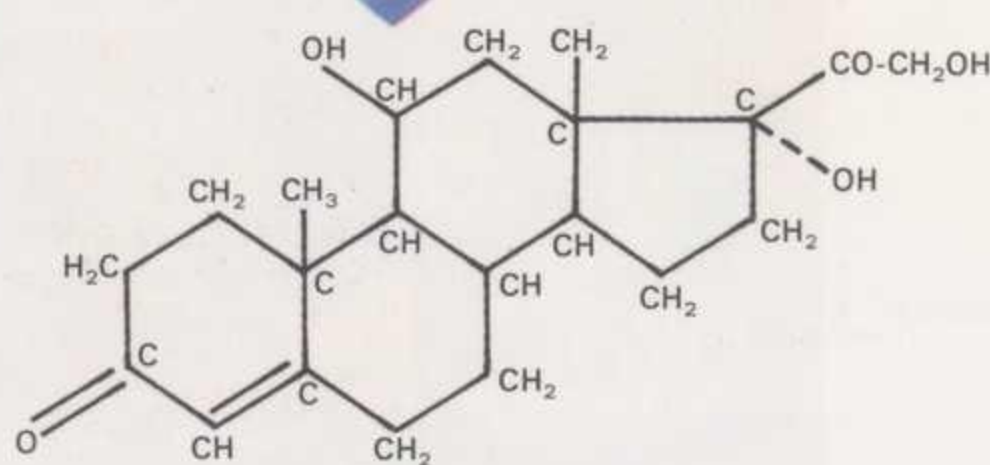
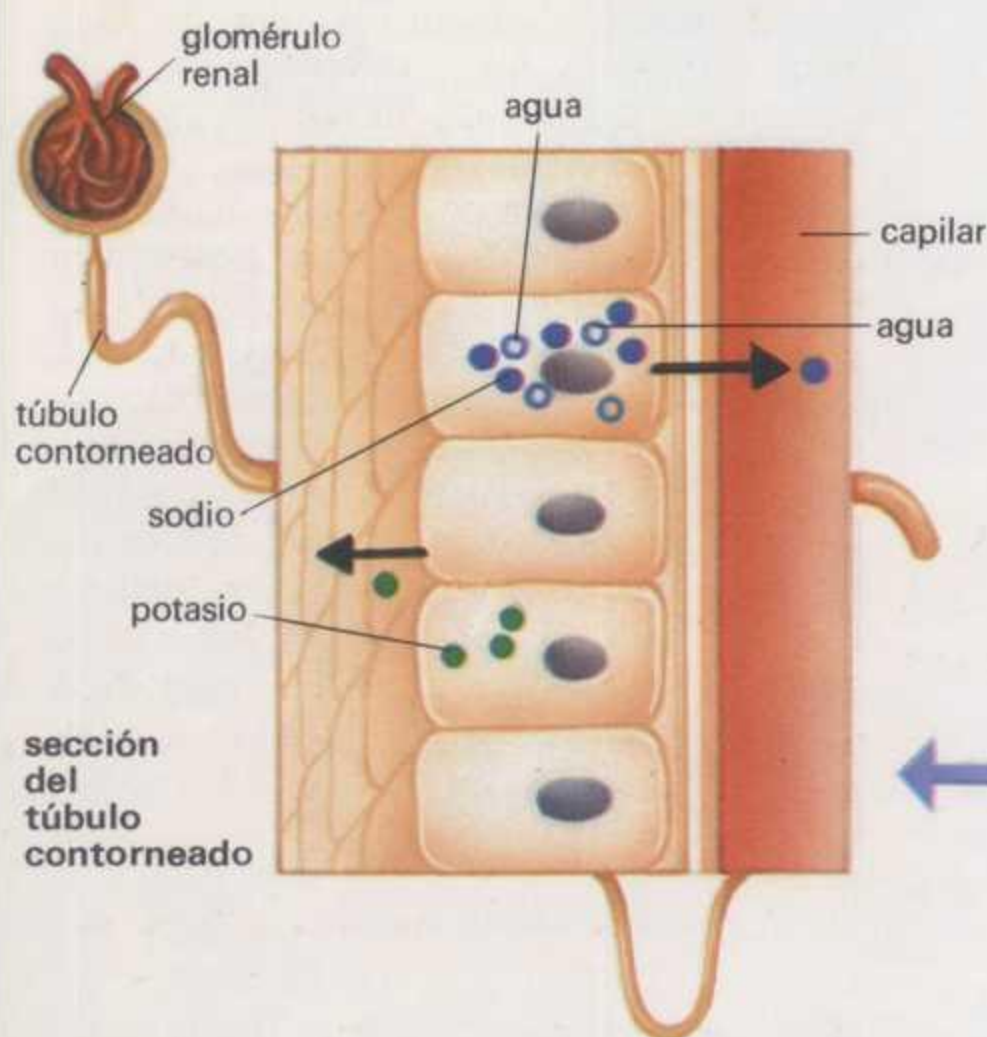
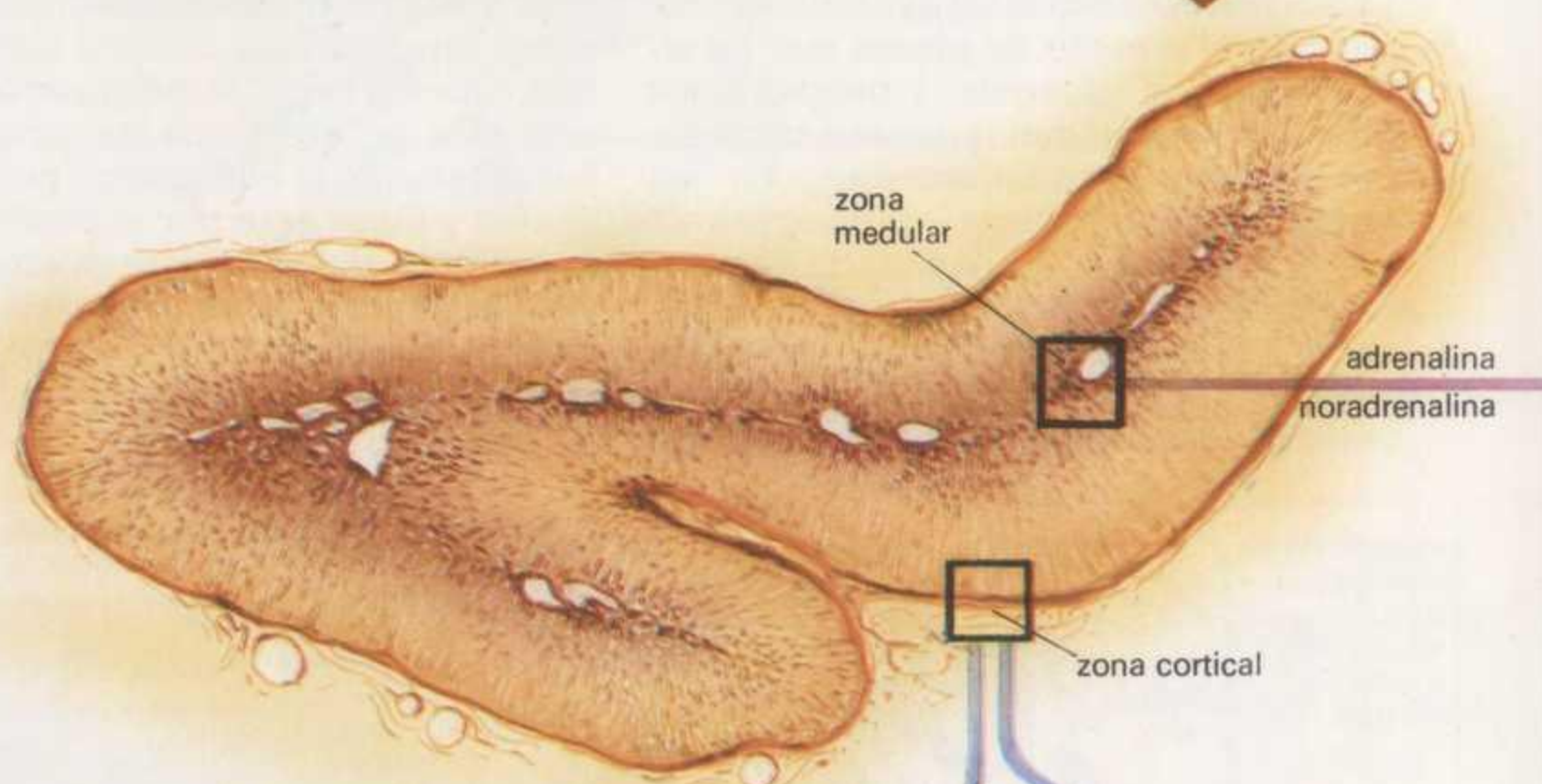
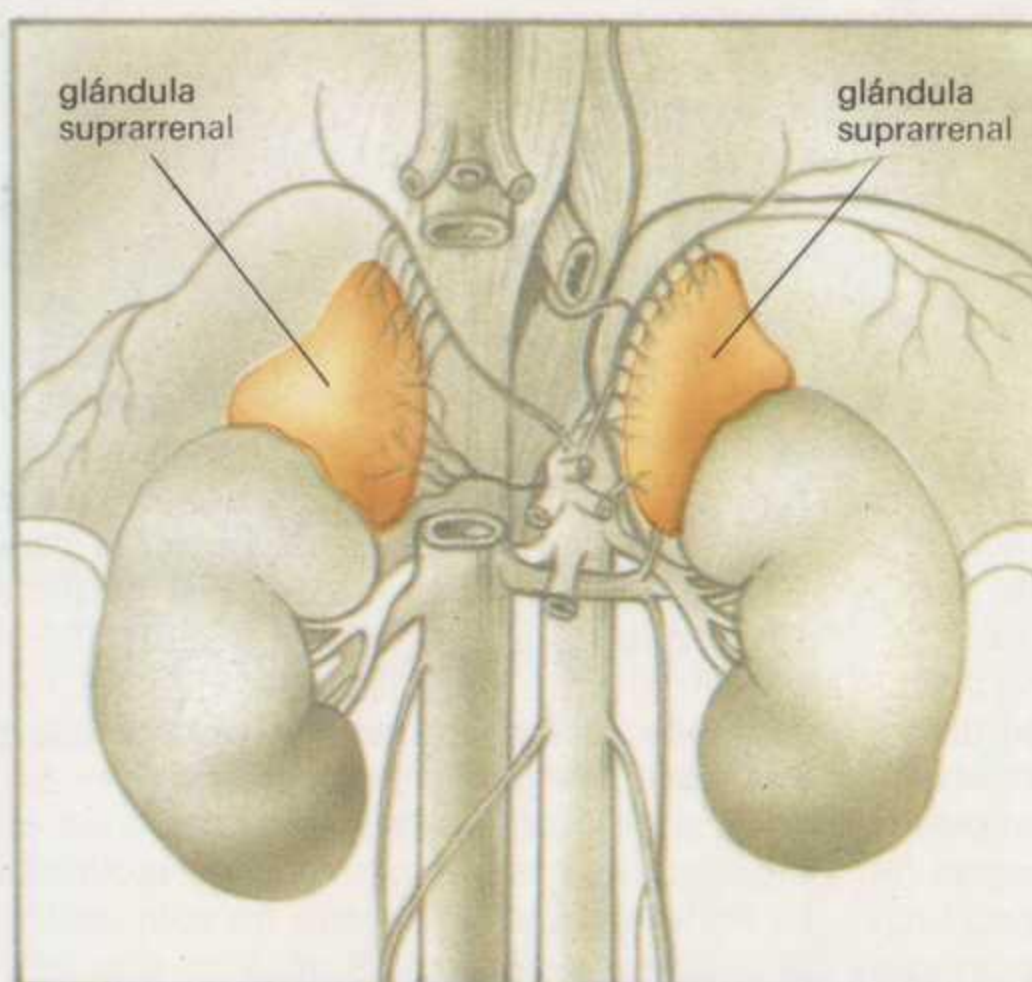


Glándulas suprarrenales

En torno al año 1850, un médico inglés, Thomas Addison, asistió a un paciente que presentaba un conjunto desconcertante de síntomas —anemia creciente, debilidad generalizada y una pigmentación oscura de la piel— y que no mejoraba con ningún tratamiento. En el transcurso de cinco años, Addison llevó a cabo autopsias de pacientes con síntomas parecidos y comprobó que los únicos órganos internos enfermos eran dos pequeñas glándulas situadas por encima de los riñones. Estas glándulas, denominadas *glándulas suprarrenales*, se encontraban atrofiadas y reducidas a pequeños granos fibrosos.

Hasta ese momento nadie había logrado saber a ciencia cierta cuál podría ser la función de las mencionadas glándulas. Sin embargo, parecía claro que las glándulas suprarrenales eran esenciales para la vida y que, de alguna manera, colaboraban a mantener el normal funcionamiento del corazón, de los órganos digestivos, de la sangre y de la piel, y que desempeñaban un papel vital en el crecimiento y en el mantenimiento del tejido adiposo y muscular. Si bien el citado médico no pudo encontrar la curación para el trastorno antes referido, en su honor se le denominó *enfermedad de Addison*.

Hormonas Las glándulas suprarrenales son dos órganos separados que producen más de 50 hormonas. Forman parte del sistema endocrino, es decir, del conjunto de las denominadas *glándulas de secreción interna*, carentes de conductos, y que, junto con el sistema nervioso central,



regulan las funciones de nuestro organismo. Cada glándula suprarrenal consta de una capa externa, denominada *corteza suprarrenal*, y de una porción medular, más interna.

La médula segrega *adrenalina* y *noradrenalina*, hormonas que ejercen su acción en un gran número de órganos, incluidos los vasos sanguíneos y el corazón. La noradrenalina posee también una función importante en la transmisión de los impulsos nerviosos. La adrenalina y la noradrenalina producen las llamadas *reacciones de adaptación* en respuesta a situaciones de peligro. Estas hormonas provocan un aumento de la presión sanguínea, de la frecuencia y de la fuerza de los latidos cardiacos, y determinan un aumento de la cantidad de azúcar en la sangre, de modo que preparan al organismo para un determinado esfuerzo.

La corteza suprarrenal es, por diversas razones, la parte más importante de la glándula. Segrega decenas de hormonas conocidas con el nombre de *esteroides*

suprarrenales. Una insuficiencia de estas hormonas corticosuprarrenales interrumpirá muchas de las funciones orgánicas. Resultará de ello un incremento de la concentración de potasio en la sangre y la correspondiente disminución del nivel de sodio. El metabolismo de los hidratos de carbono se verá también alterado, así como las funciones muscular, nerviosa y renal. Los resultados de ello son: debilidad, pérdida de peso y aumento de las sustancias de desecho tóxicas en la sangre; es decir, todos los síntomas clásicos de la enfermedad de Addison. En 1927, los investigadores descubrieron que un extracto de corteza suprarrenal podía curar esos síntomas en perros a los que les ha-

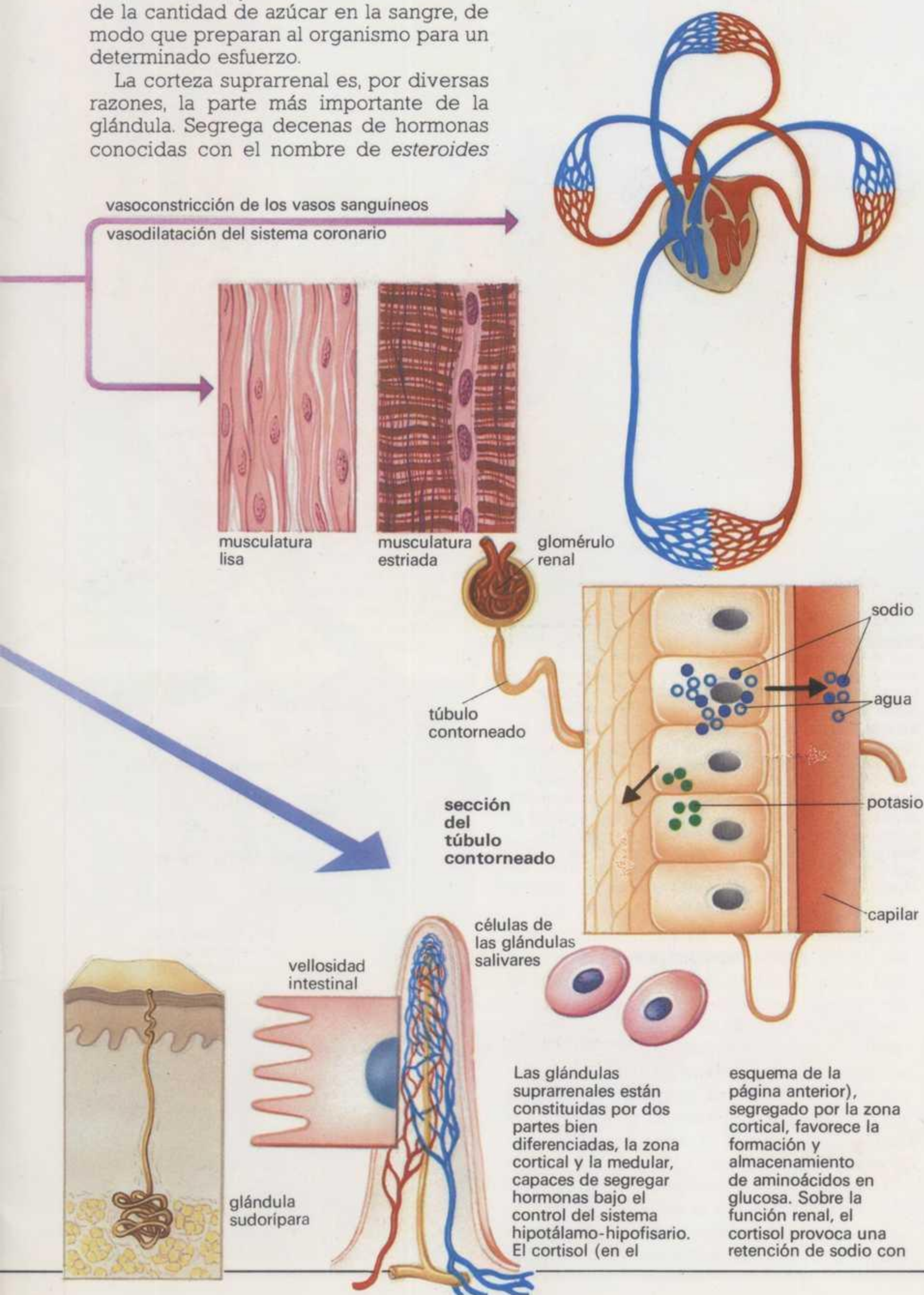
bían sido extirpadas estas glándulas. Pocos años después los extractos corticosuprarrenales se utilizaban ya para curar a seres humanos.

Esteroides corticosuprarrenales Los distintos esteroides corticosuprarrenales difieren en su estructura química sólo en algunos átomos, mientras que sus acciones son ciertamente diferentes. Se han reconocido distintas categorías de hormonas esteroideas. La primera comprende seis hormonas. La corteza suprarrenal es la única glándula endocrina, aparte de las glándulas sexuales (los testículos y los ovarios), que segrega *andrógenos*, hormonas sexuales masculinas. Más importantes son los *mineralcorticoides*, como la aldosterona. Estas hormonas actúan sobre los riñones para regular el equilibrio del sodio, potasio, cloruro y agua en la sangre y en los tejidos corporales, función de vital importancia para el mantenimiento de la homeostasis corporal, o equilibrio químico y de los fluidos.

La categoría más numerosa y compleja de las hormonas corticosuprarrenales es la de los *glucocorticoides* (cortisona, hidrocortisona y corticosterona). Entre sus múltiples efectos, estas hormonas regulan el metabolismo de las grasas, de las proteínas y de los hidratos de carbono, así como la formación de glucosa (el azúcar que circula en la sangre) por medio del hígado.

Los glucocorticoides impiden también las reacciones inflamatorias en tejidos dañados (por este motivo a los atletas lesionados se les administra con frecuencia inyecciones de cortisona). Anulan las reacciones alérgicas provocadas por la emisión de histamina y de otras sustancias por los tejidos. Desafortunadamente, los glucocorticoides poseen también efectos secundarios extremadamente peligrosos cuando se utilizan en grandes cantidades y durante un gran período de tiempo. Ha podido demostrarse que originan úlceras de estómago, elevación de la presión sanguínea, cambios psicológicos, fragilidad de los huesos, crecimiento excesivo del vello, y que disminuyen la resistencia a ciertos tipos de infecciones. Por ello, el médico, antes de prescribir estos medicamentos, debe evaluar cuidadosamente los eventuales daños para el paciente junto con los efectos beneficiosos.

Véase **Cortisona; Endocrino, sistema; Hormonas**



eliminación de potasio. La aldosterona, segregada por la zona glomerular de la corteza suprarrenal, regula el metabolismo hidrosalino del organismo, actúa sobre las células implicadas en la reabsorción de sodio (túbulos renales y vellosidades intestinales) y en la secreción de este ion (glándulas salivares y sudoríparas). La

adrenalina, segregada por la médula suprarrenal, actúa sobre el sistema cardiovascular y sobre los músculos, permitiendo la adaptación necesaria para afrontar situaciones de emergencia. El corazón y los músculos son estimulados, y la sangre se dirige hacia estos órganos además de hacia el cerebro.

Globos y dirigibles

Las máquinas voladoras más ligeras que el aire tienen una larga y curiosa historia. Han sido las primeras estructuras con las que el hombre navegó realmente por la atmósfera hace 200 años, cuando unos franceses, los hermanos Montgolfier, consiguieron elevarse en globos llenos de aire caliente. A los primeros globos de aire caliente siguieron los de hidrógeno (muy ligero, aunque peligroso por su inflamabilidad) y otros gases, como, por ejemplo, el helio (más pesado que el hidrógeno, aunque tiene la ventaja de ser inerte, y por tanto no inflamable; presenta, sin embargo, el inconveniente de su escasez). Al principio los globos se desplazaban por la acción de las corrientes de aire, pero más tarde fueron dotados de motores —los llamados *dirigibles*, de los que derivaron los extraordinarios *Zeppelin*, contruidos en Alemania y que fueron considerados como una de las máquinas voladoras de más éxito fabricadas por el hombre—. Después, el 6 de mayo de 1937, todo se desvaneció en una enorme llamarada en Lakehurst (Nueva Jersey, EE UU), cuando un enorme Zeppelin alemán destinado al transporte de pasajeros, el *Hindenburg*, explotó en pleno aterrizaje. Nunca se aclararon las causas de este accidente, que coincidió precisamente con el comienzo del período de desarrollo de los aviones, y que puso fin a la era de estas aeronaves.

Las máquinas voladoras más o menos pesadas que el aire obedecen a principios físicos bien diferentes. Las más pesadas son *aerodinas* (aviones, autogiros, helicópteros, etc.), y las más ligeras, *aerostatos* (globos, dirigibles, etc.). Las aerodinas deben su sustentación aerodinámica, que les permite elevarse o sostenerse en el aire, a un fenómeno dinámico: las diferencias de presión que en las superficies sustentadoras (alas, palas, etc.) produce la corriente de aire al desplazarse en él. Los aerostatos, por el contrario, deben su fuerza ascensional a un fenómeno estático: el principio de Arquímedes. Su peso es el del gas que llevan en su interior (más el propio de su estructura), la fuerza ascensional es la del peso del aire del volumen que desplazan; si la diferencia de densidades entre el gas que se emplea para elevar el aerostato y el aire es suficiente, la fuerza ascensional compensará o superará al peso.

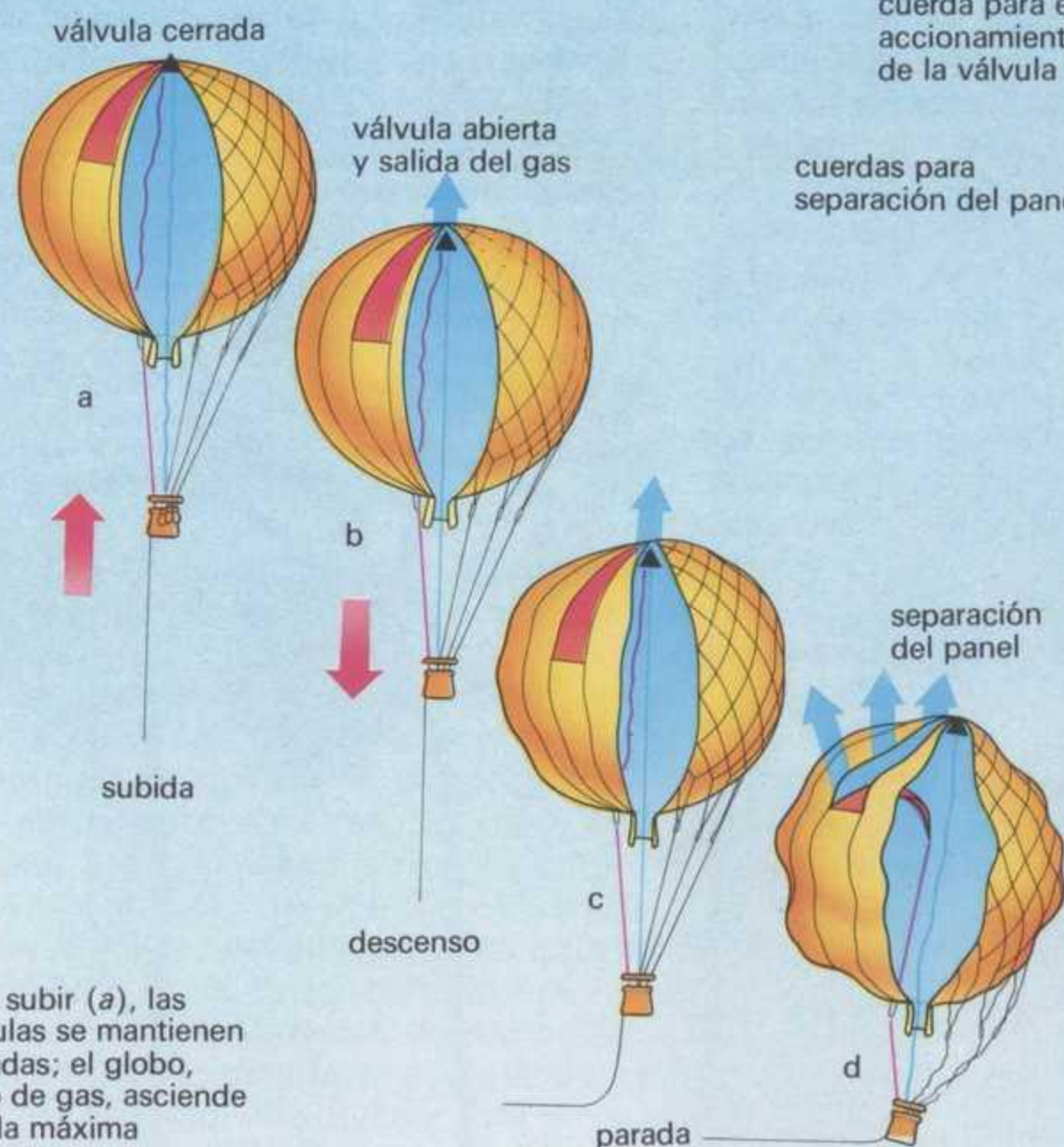
Los globos de aire caliente fueron los primeros, entre las aeronaves más ligeras que el aire, en ser abandonados; pero también han sido los primeros en volver a ponerse de moda. Tras la II Guerra Mundial, los globos de aire caliente —calentado mediante gas propano en bombonas— han visto crecer su popularidad con fines deportivos, y, en 1979, la travesía del Atlántico realizada con un globo de aire caliente maravilló al mundo.

Los globos "Montgolfier", es decir, los inflados con aire caliente, predominaron en Europa hasta que, ya en el siglo XIX, fueron desplazados por los globos de hidrógeno, que podían permanecer en el

Cuando el globo se separa del suelo, se encuentra a merced de las corrientes de vientos y en principio no se sabe dónde irá, dónde podrá descender, ni qué duración tendrá el vuelo. Este inconveniente puede

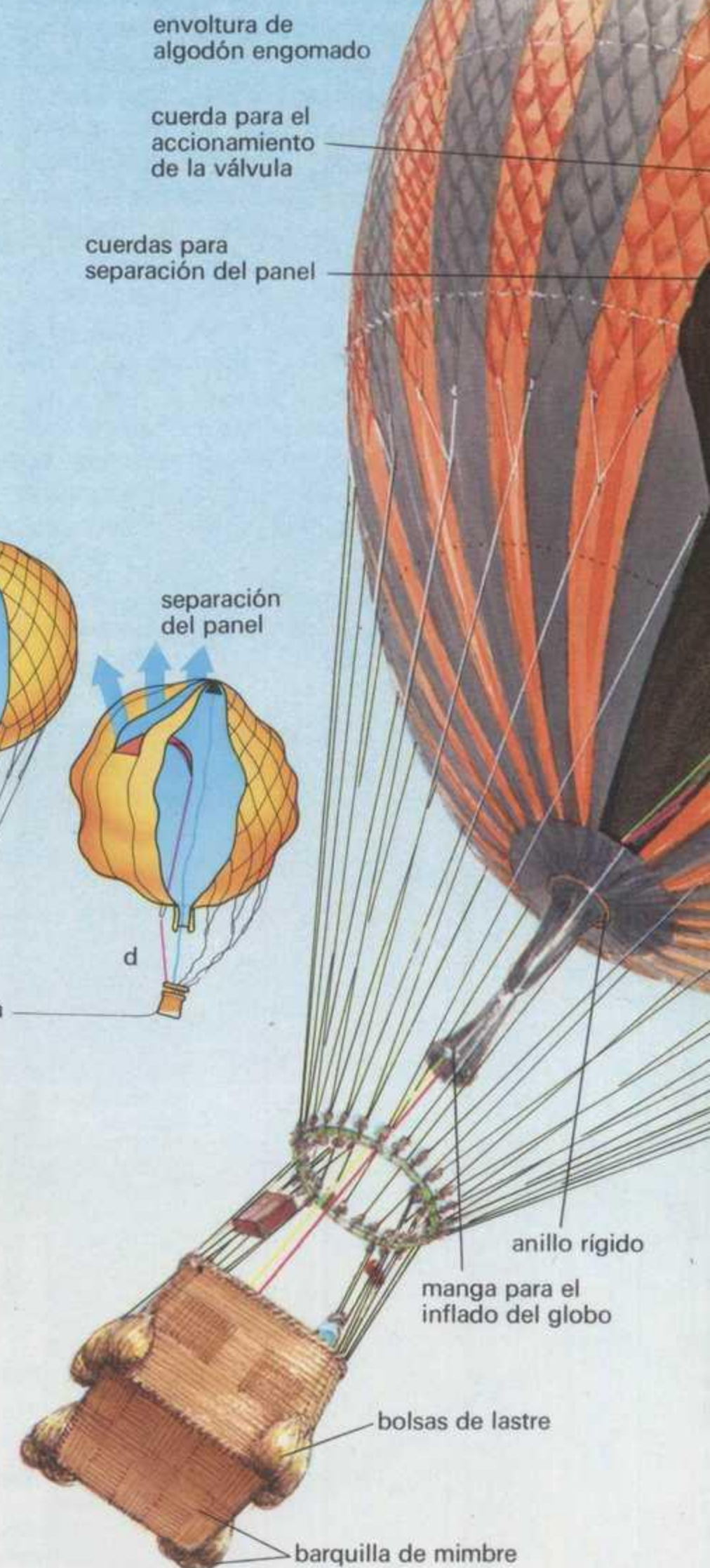
salvarse mediante dispositivos que permiten al globo ascender y descender, eligiendo la altitud de vuelo. De hecho, a distintas alturas el aire puede tener diversa velocidad y diferente dirección, datos que el

piloto puede conocer por los partes meteorológicos. La parte superior de la envoltura tiene unas válvulas que se accionan fácilmente desde la barquilla por medio de unas cuerdas.



Para subir (a), las válvulas se mantienen cerradas; el globo, lleno de gas, asciende con la máxima velocidad, por lo menos cuando está cerca del suelo. Para detener la ascensión o iniciar el descenso, se hace salir un poco de gas a través de la válvula superior (b) tirando de la cuerda que atraviesa el anillo situado sobre la barquilla. El gas, más ligero que el aire, no puede salir ni mezclarse con éste a través del orificio inferior. Para aterrizar (c), es necesario abrir al máximo la válvula superior, de ese modo sale gran cantidad de gas y el descenso es rápido.

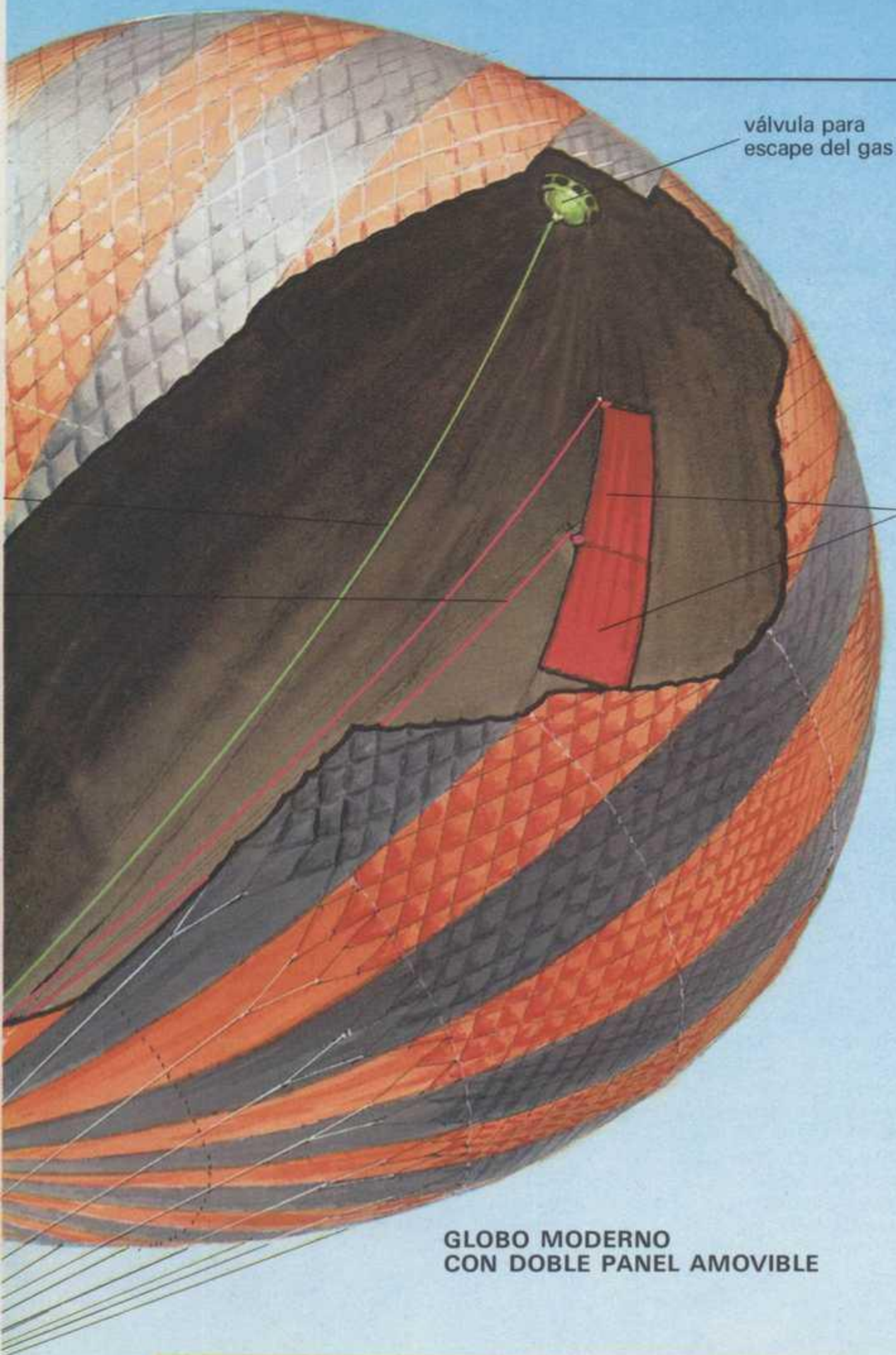
Cerca del suelo, para evitar un impacto violento, se suelta el lastre, que normalmente consiste en bolsas de arena. Pero, si hay viento, el globo corre el riesgo de ser arrastrado, con el consiguiente peligro; para evitar esto, uno de los paneles de la envoltura puede separarse de los otros tirando de una cuerda, de esta forma el globo se vacía rápidamente (d), arrugándose y deteniéndose en el suelo.



GASES EMPLEADOS PARA EL LLENADO DE GLOBOS

Gas	Peso específico (kg/m³)	Empuje aerostático (kg/m³)
hidrógeno	0,0898	1,2031
helio	0,1783	1,1146
gas del alumbrado	0,408-0,956	0,885-0,337
metano	0,7168	0,5761

Los globos para investigaciones en la alta atmósfera están contruidos normalmente en material plástico muy delgado y son, además, cerrados; dado que, al ascender, el gas que contienen se dilata, es necesario que no esté totalmente lleno, con el fin de que el globo no explote. En la parte derecha de la página siguiente, tenemos: 1), 2) y 3), ascensión rapidísima al principio, mientras



**GLOBO MODERNO
CON DOBLE PANEL AMOVIBLE**

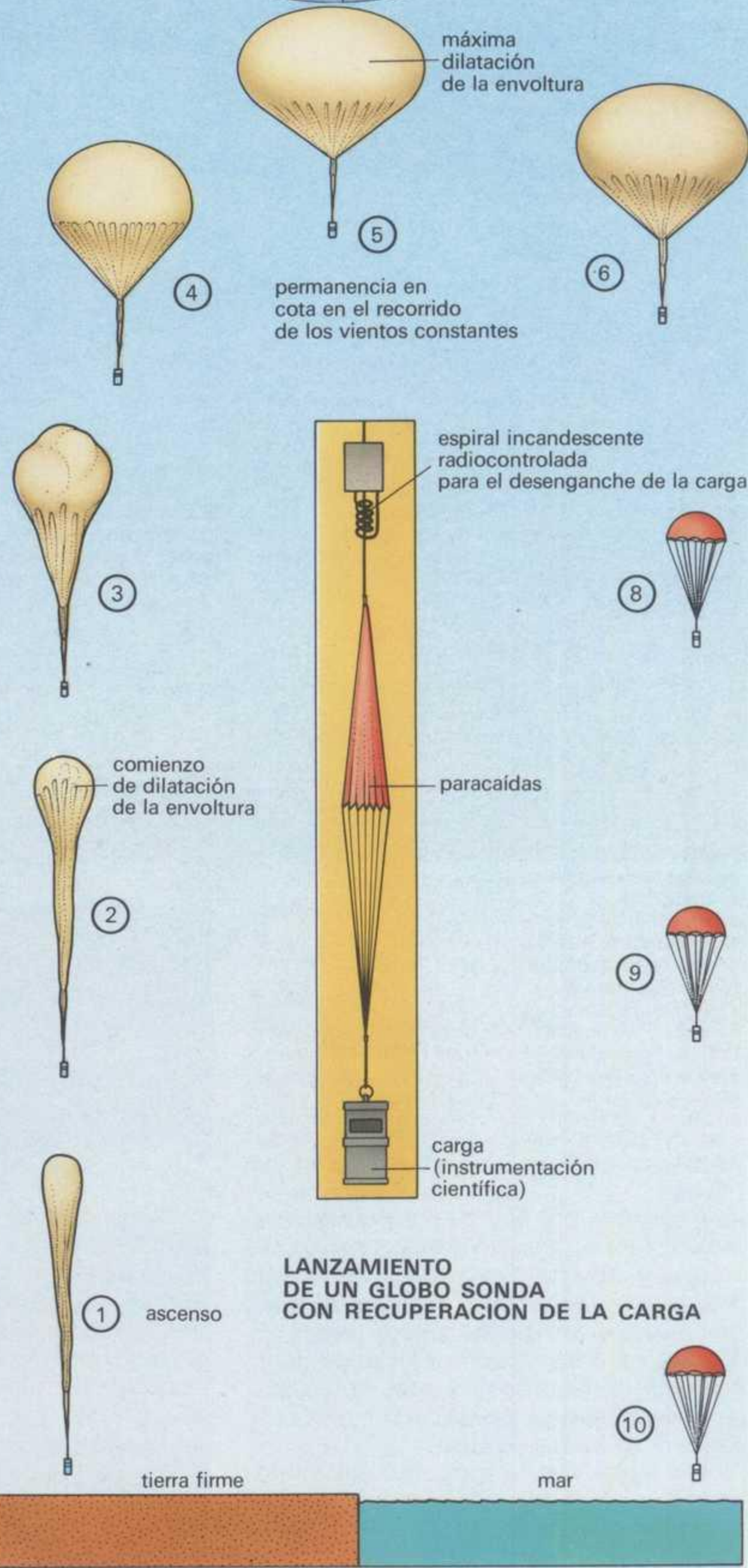
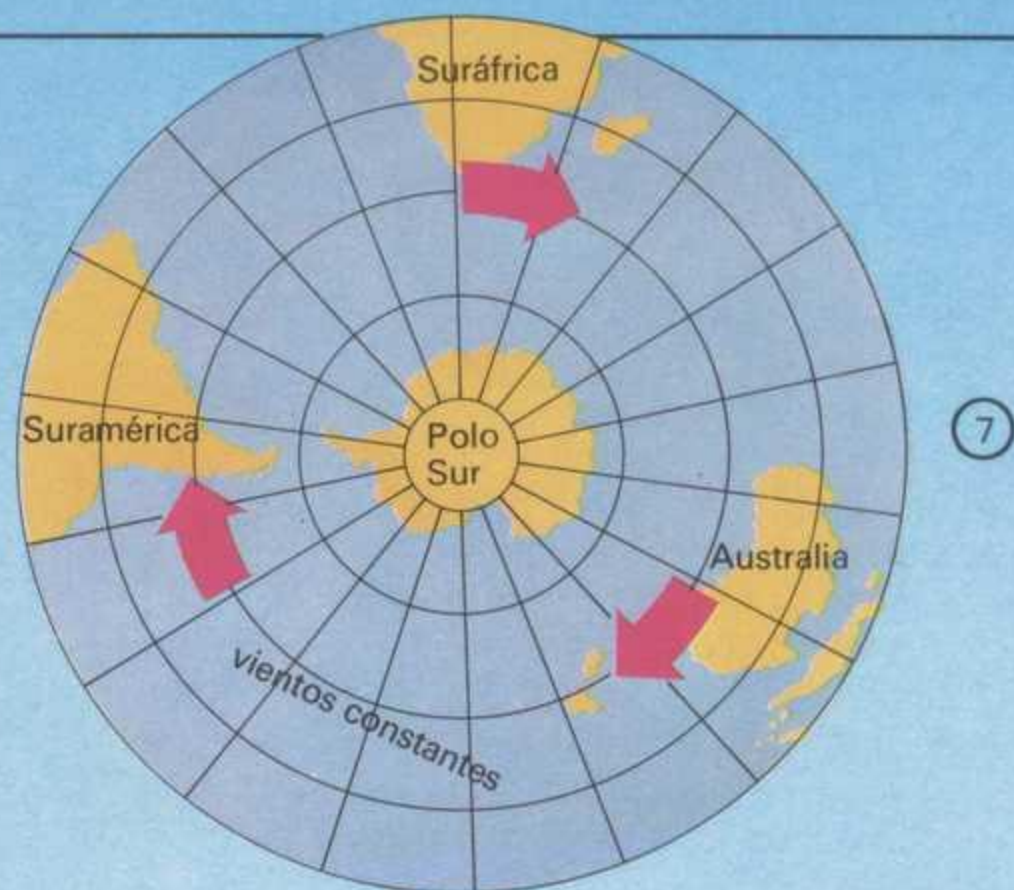
CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES DE UN GLOBO Sonda

peso del globo	1-1,4 kg _p
carga útil	1,7 kg _p
empuje	1-1,5 kg _p
volumen de hidrógeno empleado	3,4 m ³
diámetro a nivel del mar	2 m
diámetro a 30.000 metros	7,5 m
espesor de la envoltura desinflada	0,1 mm
velocidad ascensional	5 m/s { +0,5 m/s -0,25 m/s
alturas alcanzadas	27.500 m (para el 1,80% de la duración del vuelo) 30.500 m (para el 37% de la duración del vuelo)

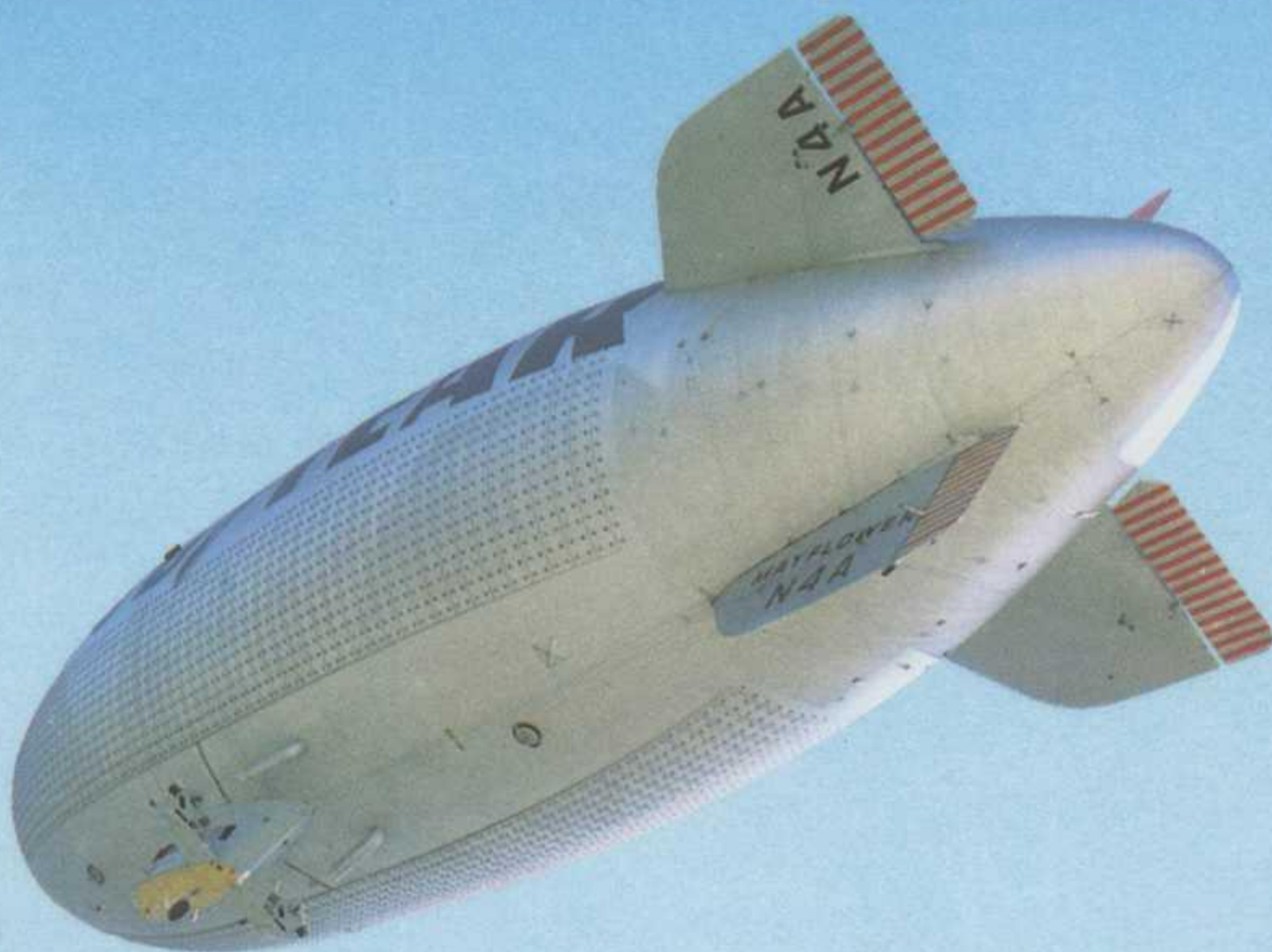
el gas se dilata proporcionalmente a la rarefacción del aire circundante: únicamente al final de la ascensión alcanza su volumen máximo y una forma casi esférica, 4) y 5). En ese momento comienza un vuelo en cota constante (o casi) que puede ser de 20, 30, 40 o incluso más kilómetros, según la carga y el volumen del globo, las variaciones de temperatura entre el día y la noche

pueden hacer que el globo suba o baje un poco 6). En estas condiciones, el vuelo puede durar incluso meses. Esto se aprovecha para lanzar globos en lugares privilegiados, como el sur de Australia, desde donde pueden realizar incluso varias vueltas al mundo sobre un paralelo, 7). Cuando los que vigilan el vuelo del globo desde tierra comprueban que éste se encuentra sobre el punto previsto para el

desenganche, con una señal de radio se suelta la carga de instrumentos, que van colgados de un paracaídas y que llegarán a tierra al cabo de una media hora: 8), 9) y 10). El globo, aligerado de su carga, seguirá ascendiendo y continuará el vuelo hasta que la radiación ultravioleta procedente del sol degrade el plástico, haciendo que se agite y que el globo caiga.



**LANZAMIENTO
DE UN GLOBO Sonda
CON RECUPERACION DE LA CARGA**



Marka

La envoltura de un dirigible semirrígido debe adoptar una forma aerodinámica, aunque sea poco esbelta, lo cual es aceptable para bajas velocidades, y debe disponer de timones para favorecer el ascenso, el descenso

y los cambios de dirección. El célebre *Norge*, que sobrevoló el Polo en mayo de 1926 con U. Nobile y R. Amundsen a bordo, tenía una forma particularmente aerodinámica. Dirigibles de este tipo deben llevar a bordo,

para las maniobras, tanto lastre (que descargar para frenar el descenso) como bombonas de gas (para liberarlo en su interior y aumentar la fuerza ascensional cuando, durante un largo vuelo, existan pérdidas de gas o se haga

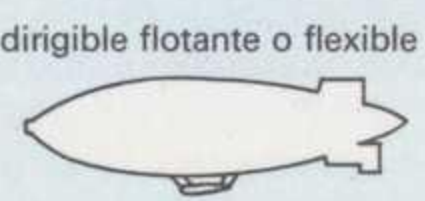
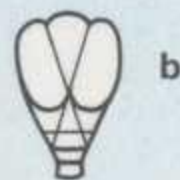
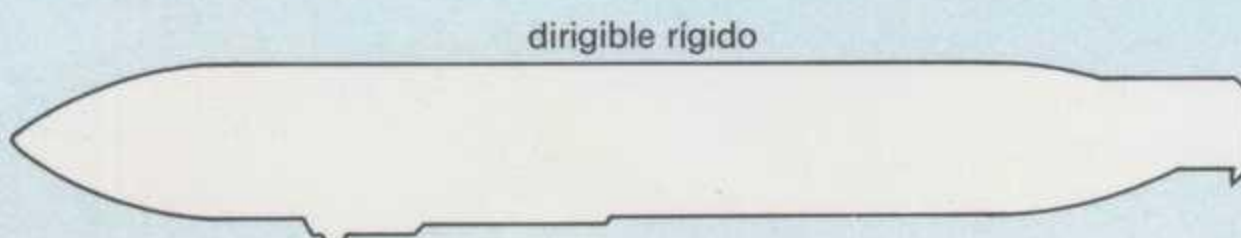
necesario alcanzar cotas de vuelo más altas para conseguir condiciones de viento más favorables). Estas exigencias imponen la presencia de una estructura rígida y resistente, capaz de soportarlo.

El globo libre es útil para actividades deportivas o para alcanzar cotas estratosféricas con cargas científicas. Para el transporte de cargas importantes a discreta velocidad sobre largas distancias es necesario transformar el globo en un volumen rígido del que cuelgan una barquilla para la carga y góndolas para los motores, que moverán la aeronave mediante "hélices de baja velocidad". La envoltura está llena de gas ligero y contiene los depósitos de combustible (a la

estructura anular rígida

timón de dirección

timón de profundidad



A la derecha, perfiles y secciones de dirigibles: a) rígido; b) semirrígido; c) flotante (sin estructura interna). El más famoso "rígido" fue el Zeppelin LZ (141,5 m; diámetro de 13,8 m; 6 tm de carga útil). El "semirrígido" estaba dotado de una quilla, sujeta a la envoltura mediante cables y cuerdas, que llevaba la barquilla de

mando y los motores. Los "flotantes" que vuelan actualmente se inflan con helio, y la carga está suspendida por medio de cuerdas o cables metálicos.

aire durante más tiempo y no era necesario calentar el gas, aunque tenían el inconveniente de que dicho gas es altamente inflamable y explosivo. A pesar del serio peligro que corrían, los globos fueron utilizados para la observación de los movimientos de las tropas y para la localización de las piezas de artillería incluso durante la II Guerra Mundial.

Las tentativas de propulsar los globos con remos y velas fueron infructuosas. Unicamente cuando se inventó el motor de gasolina, a finales del siglo XIX, fue po-

sible construir un globo autopropulsado y maniobrable, que se convirtió en la primera aeronave.

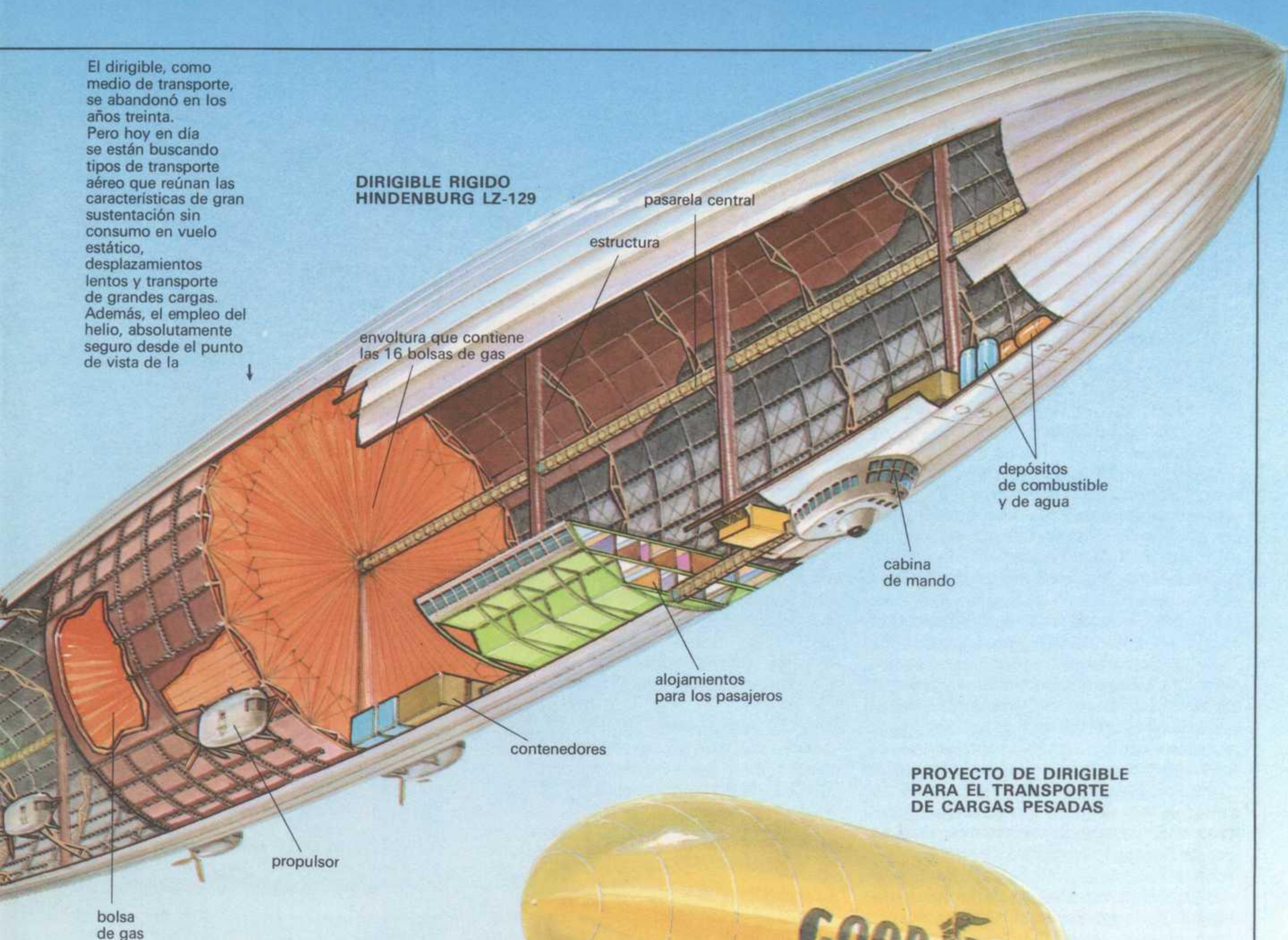
El siguiente paso importante se dio en el año 1900, cuando el conde alemán Ferdinand von Zeppelin construyó la primera aeronave de estructura rígida. En lugar de una única envoltura llena de gas, introdujo una serie de bolsas de gas en una estructura de madera o metal, ligera y a la vez resistente. Esto permitió un mejor control de la aeronave y una mayor velocidad, ya que se podía fijar más de un mo-

tor a la estructura. Los *Zeppelin*, así se denominaron, tuvieron tanto éxito que, en 1914, en Alemania se inauguró la primera línea aérea del mundo: con cinco aeronaves Zeppelin realizaba el transporte de pasajeros y correo.

Durante la I Guerra Mundial, el ejército alemán utilizó los Zeppelin para realizar incursiones aéreas de bombardeo sobre Londres y París, una táctica que se mostró muy eficaz. Después de la guerra, los Zeppelin fueron nuevamente utilizados con fines pacíficos, en virtud de su experimentada eficacia como aparatos para el transporte de mercancías a larga distancia. Un Zeppelin fue cedido por Alemania a Estados Unidos como reparación de los daños de guerra y durante bastantes años ese aparato voló, bajo bandera estadounidense, con el nombre de *Los Angeles*. También Estados Unidos construyó tres grandes dirigibles, el *Akron*, el *Macon* y el *Shenandoah*, pero los tres se perdieron en accidentes. A pesar de ello, cuando por primera vez fue posible en EE UU disponer de helio, un gas no inflamable, el futuro de

El dirigible, como medio de transporte, se abandonó en los años treinta. Pero hoy en día se están buscando tipos de transporte aéreo que reúnan las características de gran sustentación sin consumo en vuelo estático, desplazamientos lentos y transporte de grandes cargas. Además, el empleo del helio, absolutamente seguro desde el punto de vista de la

DIRIGIBLE RIGIDO HINDENBURG LZ-129



PROYECTO DE DIRIGIBLE PARA EL TRANSPORTE DE CARGAS PESADAS



este tipo de aeronaves como vehículo para viajes seguros, confortables y económicos era prometedor. Los continuos éxitos de Alemania parecían confirmar estas previsiones: primero el *Graf Zeppelin* y después el aún mayor *Hindenburg* (245 metros de longitud) atravesaron en vuelo los océanos y volaron con regularidad alrededor del mundo. Aunque cuestiones políticas impedían la venta de helio a la Alemania nazi, el dirigible *Hindenburg* inició vuelos regulares sobre el océano Atlántico para el transporte de pasajeros y correo entre Lakehurst y Francfort, que continuaron hasta que el trágico accidente de 1937 puso el punto final a toda construcción posterior.

Sin embargo, la idea del transporte por medio de este tipo de aeronaves no ha sido totalmente abandonada. Efectivamente, nada puede competir con la capacidad de carga de los Zeppelin, ni con las dimensiones de las cargas que pueden transportar. Ello se debe a que la sustentación aerodinámica originada por la corriente de aire sobre su enorme estructu-

↓ inflamabilidad, ha reavivado la fórmula del dirigible. En el dibujo en sección (arriba) puede verse la estructura interna de un gran dirigible rígido, el *Hindenburg LZ 129*

(1936). En sus bolsas de gas contenía 200.000 m³ de hidrógeno, con un desarrollo de fuerza ascensional de 232 tm. Las bolsas para el gas estaban contenidas en

una estructura de aluminio, a la que se habían unido cuatro motores Diesel de 1.050 CV. Este dirigible podía llevar una carga de 12 tm y cincuenta pasajeros. Debajo,

proyecto de un dirigible destinado al transporte de cargas pesadas. La propulsión se consigue por medio de cuatro motores parecidos a los de los helicópteros.

ra casi duplica la fuerza ascensional del helio contenido en las bolsas de gas. Esto hace de los dirigibles un medio de transporte ideal para cargas muy voluminosas y pesadas.

Actualmente, los globos se emplean para *sondeos meteorológicos*. Generalmente están contruidos en materiales sintéticos; algunos de material plástico han alcanzado alturas de hasta 43.000 metros. Hay *globos libres tripulados*, cuya barquilla, constituida a menudo por una simple "cesta de mimbre", está literalmente col-

gada de la envoltura llena de gas, ya que está atada a las cuerdas que a modo de red cubren el globo. Finalmente, hay *globos estratosféricos tripulados*: su carga útil está constituida por cabinas presurizadas, y sus características les han permitido alcanzar cotas de 30.000 metros y estacionarse durante varias horas para estudiar los fenómenos que se producen en la estratosfera.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Gases**

Glúcidos

Los hidratos de carbono, glúcidos o azúcares son sustancias orgánicas formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno, y se indican con la fórmula general $C_n(H_2O)_n$. Son los componentes esenciales de la materia viviente animal y vegetal, y constituyen los materiales de reserva: glucógeno y almidón. Los glúcidos son sustancias que se encuentran en casi todos los organismos en porcentajes más o menos importantes. Las plantas pueden sintetizarlos, por medio del proceso de fotosíntesis, a partir del dióxido de carbono y del agua, utilizando la energía suministrada por el Sol. Los animales (incluido el hombre) se abastecen de glúcidos, directa o indirectamente, a partir de los producidos por los vegetales, por medio de la alimentación. Originalmente se adoptó el término de *hidratos de carbono* porque se suponía que estos compuestos podían ser representados por moléculas constituidas por grupos de átomos de carbono y agua, es decir, de carbono hidratado. Hoy el conocimiento de la estructura es mucho más exacto que cuando se adoptó este nombre y se sabe que son compuestos que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno.

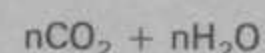
El glucógeno y el almidón tienen en común una característica esencial: pueden ser divididos en moléculas más pequeñas llamadas *azúcares simples*. La D-glucosa, por ejemplo, es un glúcido simple y es el azúcar más importante en estado libre que circula en la sangre de los mamíferos superiores; es esencial para el funcionamiento de las células vivientes. Esta es una de las razones por las cuales los glúcidos son tan importantes para la materia viviente. Algunos de ellos pertenecen a la estructura de los ácidos nucleicos, del núcleo celular que contiene la información genética esencial para la continuación de la vida.

Aunque los animales y las plantas acumulen energía ya sea en forma de glúcidos o ya sea en forma de grasas, el organismo utiliza solamente los glúcidos —en forma de glucógeno— cuando se requiere un rápido empleo de energía. Además, los glúcidos, en forma de celulosa, constituyen los más importantes componentes estructurales de las plantas.

La química de los glúcidos Como todos los compuestos químicos, los glúcidos difieren notablemente uno de otro en base a su estructura y a la disposición de los átomos. Los azúcares, por ejemplo, se disuelven fácilmente y tienen un sabor dulce, mientras que los almidones no se disuelven en agua y por lo general son insípidos. Los glúcidos están constituidos fundamentalmente por cadenas de átomos de carbono ligados a átomos de oxí-

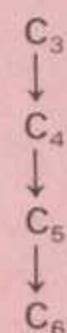
Los monosacáridos constituyen las unidades estructuralmente más simples entre los glúcidos. Son solubles en agua, pueden cristalizarse y no pueden ser divididos por hidrólisis, es decir, por eliminación de una molécula de agua. Se pueden diferenciar en *aldosas* y *quetosas*, según que el grupo que las caracteriza sea un grupo aldehído CHO o un grupo quetónico COR. Los monosacáridos más importantes son los de cinco y de seis átomos de carbono, es decir, las *pentosas* y las *hexosas*. Entre las pentosas, de extraordinaria importancia es un derivado de la ribosa, la 2-desoxirribosa, que es un constituyente de la molécula de ADN. Entre las hexosas, la más notable es la glucosa, o azúcar de uva, que es el más importante glúcido del mundo animal. Entre los derivados de los monosacáridos, de gran importancia son los éteres, compuestos altamente energéticos que constituyen una etapa fundamental del metabolismo glucídico.

REACCION GENERAL



clorofila

Monosacáridos



Oligosacáridos

disacáridos

trisacáridos

tetrasacáridos

glucosa

manosa

galactosa

fructosa

xilulosa

sacarosa

maltosa

lactosa

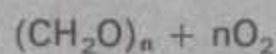
celobiosa

Los oligosacáridos son una clase de glúcidos cuyos representantes más importantes son los disacáridos. Los disacáridos se obtienen por medio de la unión de dos moléculas de monosacáridos con la eliminación de una molécula de agua. Los exponentes más difundidos de los disacáridos son la maltosa, la lactosa, la celobiosa y la sacarosa. La maltosa se encuentra en el reino vegetal; no obstante,

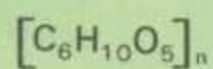


DE LOS GLUCIDOS

metabolismo
animal



Polisacáridos



glucógeno

mucopolisacáridos

almidón

celulosa

geno y de hidrógeno. Pueden dividirse en tres grupos fundamentales, partiendo de los más simples hasta los más complejos, a saber: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos.

Los *monosacáridos*, o azúcares simples, están constituidos por cadenas únicas o anillos de átomos de carbono ligados a oxígeno e hidrógeno. En base al número de átomos de carbono, se dividen en: *triosas*, con tres átomos de carbono, seis de hidrógeno y tres de oxígeno; *pentosas*, con cinco átomos de carbono, diez de hidrógeno y cinco de oxígeno, y así sucesivamente. La uva y las demás frutas, las alcachofas y la miel son productos ricos en azúcares simples.

Aunque los monosacáridos puedan tener de tres a nueve átomos de carbono, la mayor parte de ellos tiene cinco o seis. Muchos monosacáridos están constituidos

por el mismo número de átomos de carbono: la glucosa (o dextrosa), la fructosa y la galactosa, por ejemplo, poseen todas seis átomos de carbono, doce átomos de hidrógeno y seis de oxígeno, pero las distintas disposiciones de los átomos en las respectivas moléculas imparten a estos azúcares distintos sabores y características. La glucosa desarrolla un papel multiforme y esencial para la materia viviente, ya que es el azúcar que puede ser asimilado y utilizado por el cuerpo humano y, además, representa la unidad estructural de la celulosa y del glucógeno.

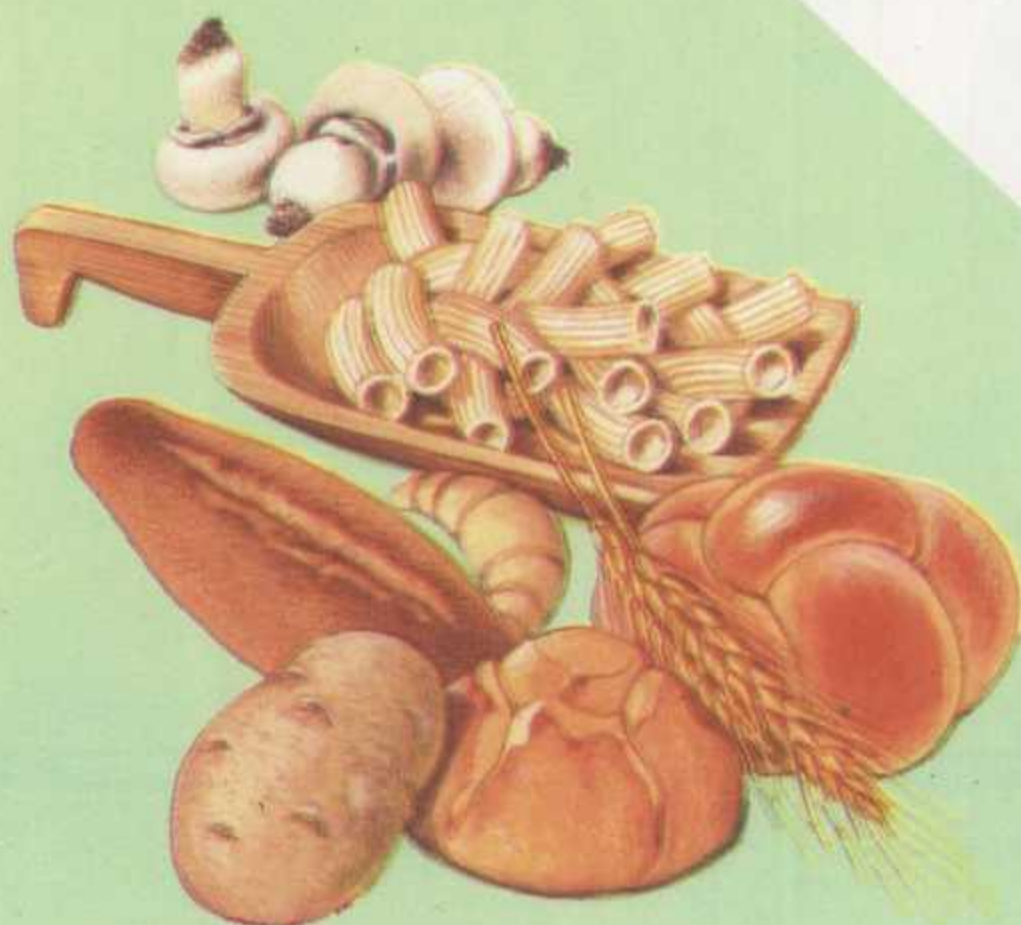
Los *oligosacáridos* son azúcares compuestos, constituidos por dos o más moléculas de azúcares simples (monosacáridos). Se dividen en disacáridos, trisacáridos, tetrasacáridos y así sucesivamente, en base al número de moléculas de monosacáridos por las cuales están constitui-

Los glúcidos son sustancias de fundamental importancia biológica. Su difusión es prácticamente universal, y el esquema de estas páginas indica su distribución. Empezando por la reacción general que a partir del dióxido de carbono, por medio de la fotosíntesis, permite su producción, se distinguen tres clases principales: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los primeros, entre ellos glucosa, manosa, galactosa y fructosa,

están presentes sobre todo en la fruta; los segundos, entre ellos sacarosa, lactosa y maltosa, se encuentran en la leche y sus derivados y en el azúcar de caña y de remolacha; finalmente, los últimos, los polisacáridos, entre ellos almidón, glucógeno y celulosa, se hallan en el pan, en la pasta, en los árboles, en las setas. Además, el glucógeno constituye el material de reserva energética del organismo animal. Se pasa de una clase a la otra eliminando agua.

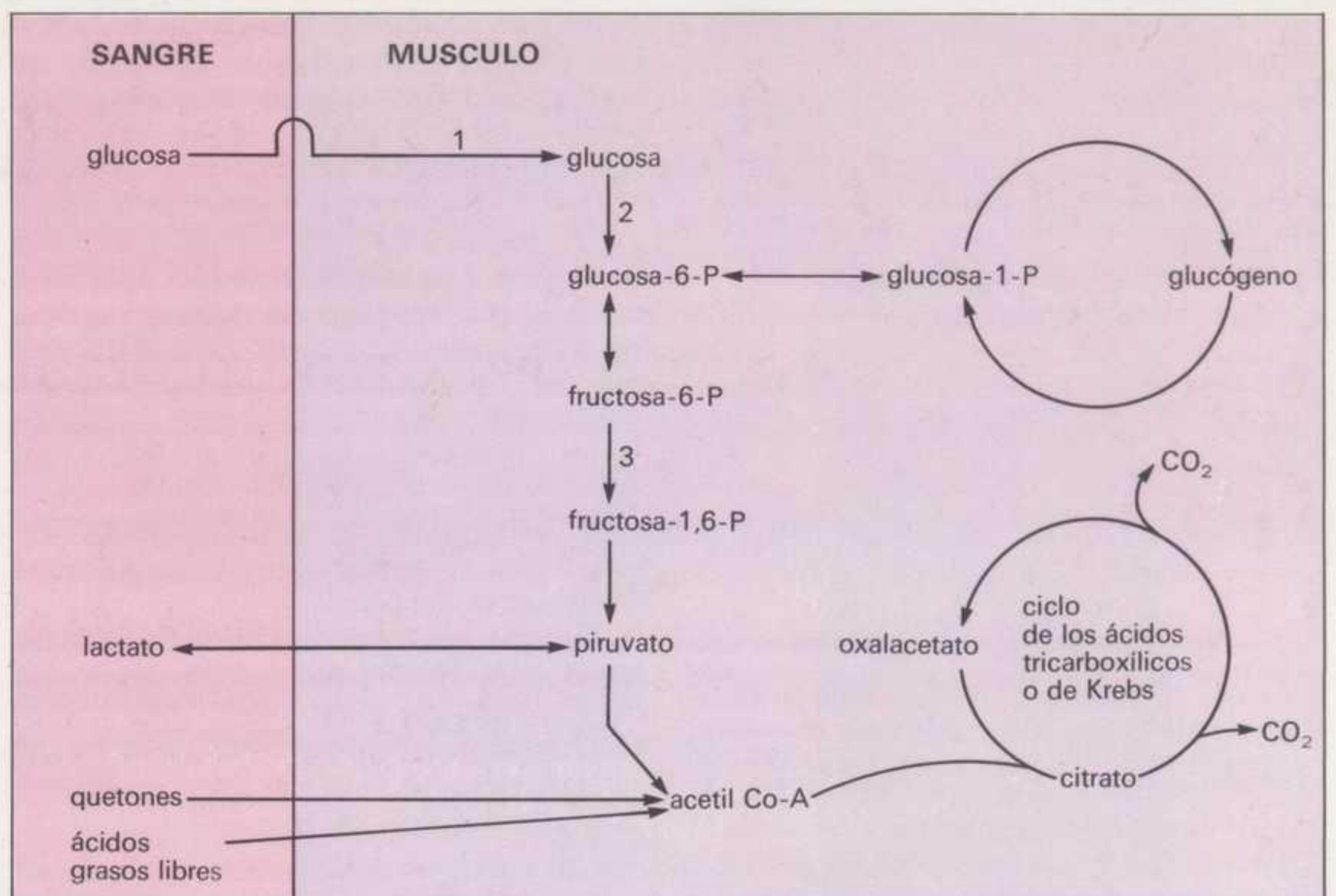
Los polisacáridos son glúcidos complejos con alto peso molecular. Los tres principales representantes de esta clase son el almidón, el glucógeno y la celulosa. Los tres toman el nombre de *omopolisacáridos* porque derivan de la polimerización de varias moléculas de un único monosacárido. En base a su función, los polisacáridos pueden dividirse en polisacáridos *de reserva* y *de sustentamiento*. Entre los primeros hay que contar el glucógeno, sustancia fundamental de reserva energética. Entre los segundos, especialmente difundidos en el mundo vegetal, hay que citar las celulosas y también las quininas (que en el reino animal constituyen las estructuras de revestimiento de numerosos insectos). Finalmente, son de gran importancia los mucopolisacáridos, tales como la eparina, el ácido ialurónico y las estructuras anticuerpo, ampliamente difundidos en el reino animal donde participan en el desarrollo de funciones específicas.

aparece en el organismo animal durante los procesos digestivos del almidón. La lactosa es el más significativo oligosacárido para la dieta humana, siendo el principal glúcido de la leche: en la leche de mujer alcanza el 5% en peso y es sintetizado directamente en la glándula mamaria. La celobiosa deriva de la celulosa, mientras la sacarosa es el azúcar de caña y de remolacha.



dos. Los disacáridos, como por ejemplo la lactosa, están compuestos por dos monosacáridos. El azúcar común, o sacarosa, es un disacárido constituido por una molécula de glucosa y una de fructosa. Se encuentra principalmente en la remolacha y en la caña de azúcar. Tanto los disacáridos como los monosacáridos tienen sabor dulce.

Los *polisacáridos* están formados por numerosos monosacáridos —hay unos 10.000— unidos entre sí. Son insípidos y tienen un peso molecular muy elevado (el peso molecular se indica por medio de un número que se obtiene sumando los pesos atómicos, es decir, el número de protones y de neutrones contenidos en el núcleo de cada átomo). El almidón —compuesto por medio del cual las plantas acumulan energía— y el glucógeno —compuesto por medio del cual los animales acumulan la energía— tienen pesos moleculares del orden de varios millones. Si se considera que un átomo de oxígeno tiene un peso atómico de 16 y se compara con



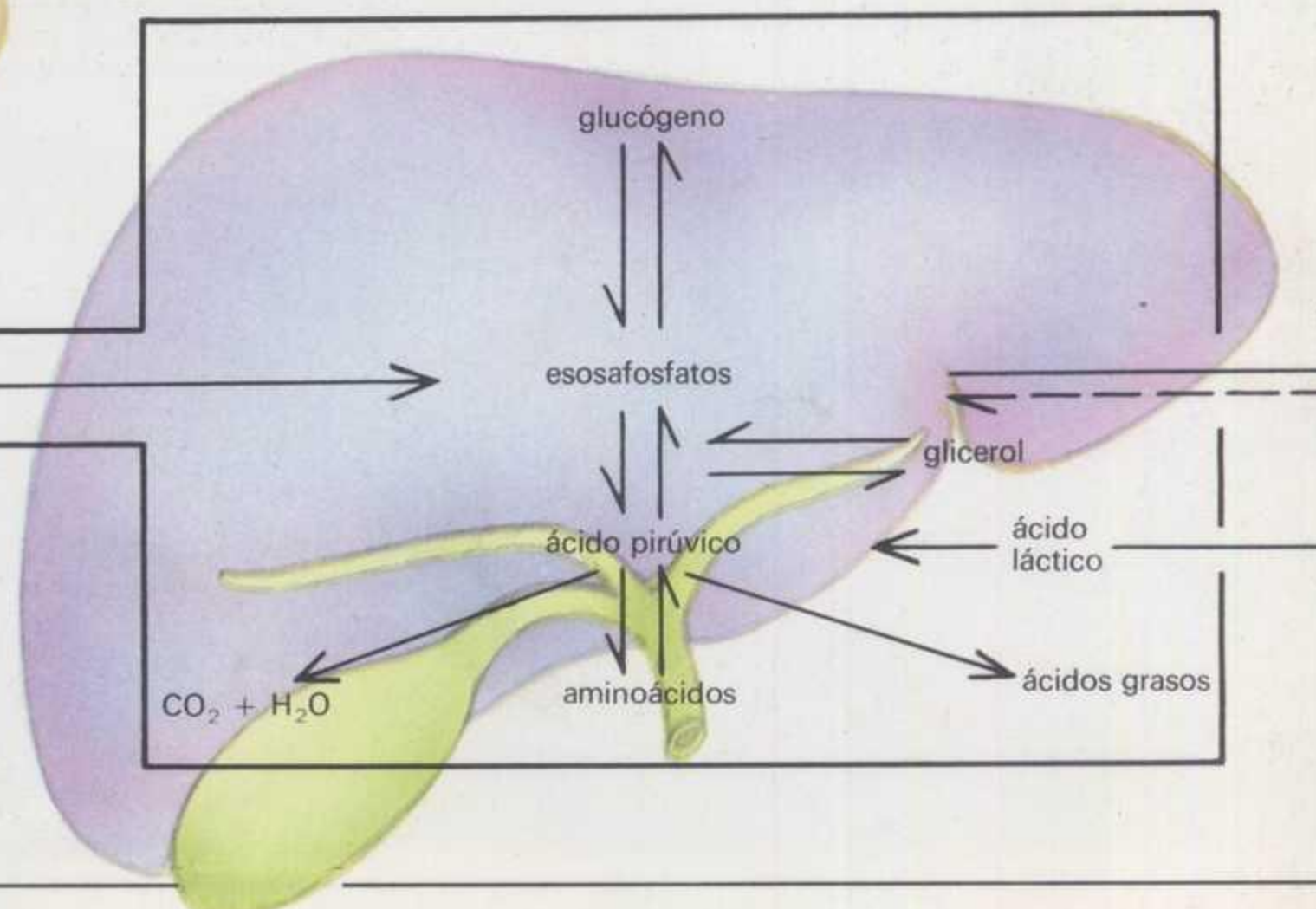
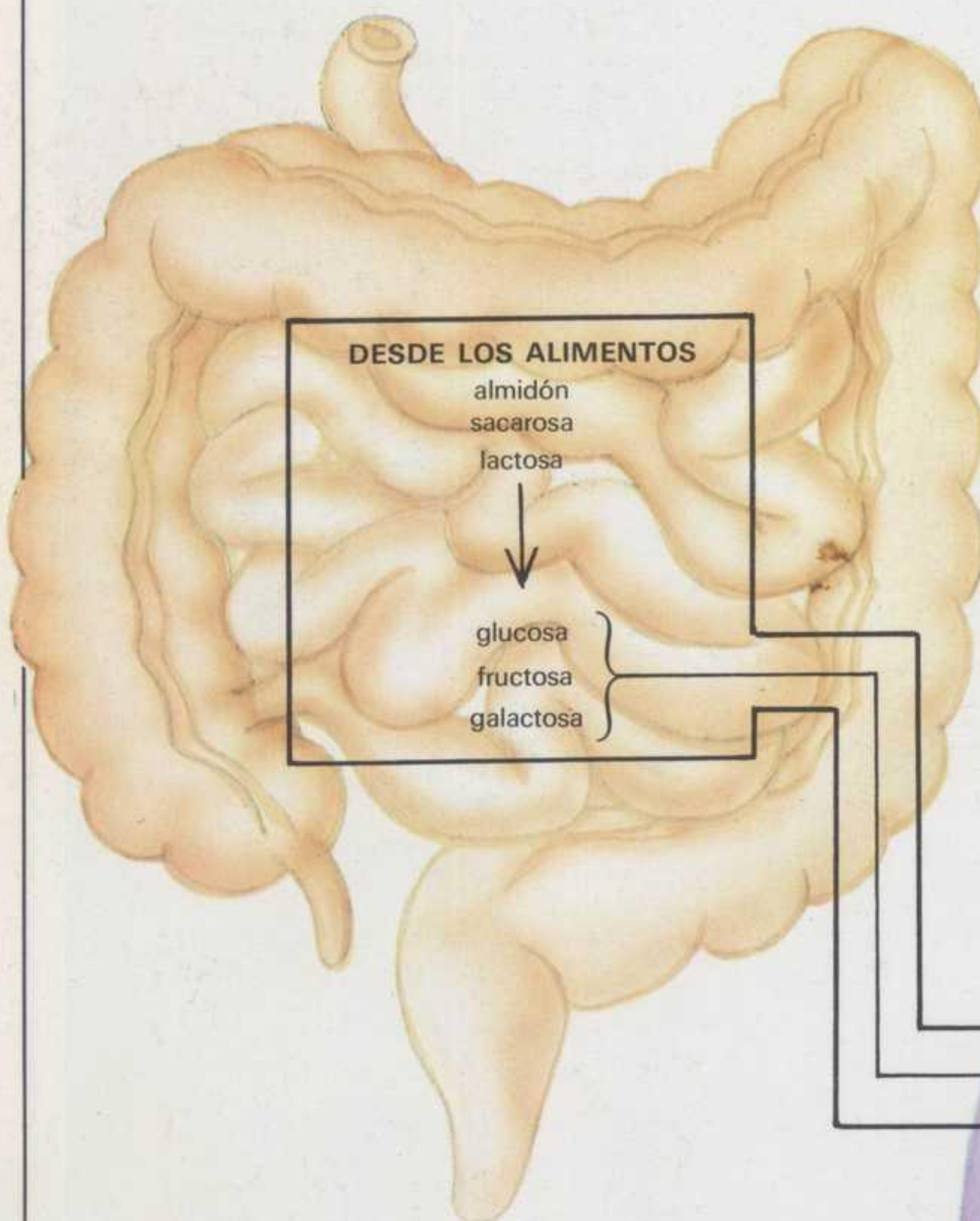
En el cuadro que está sobre estas líneas se nos muestran los intercambios metabólicos entre sangre y músculo. Como puede verse, la glucosa es en parte utilizada y en parte transformada en glucógeno. A través de la transformación en fructosa y en piruvato, la glucosa llega, por medio del acetilcoenzima-A, al ciclo de los ácidos tricarboxílicos o ciclo de Krebs, cuyo resultado final es el dióxido de carbono. A la actividad del músculo contribuyen también los quetones y los ácidos grasos libres, los cuales suministran energía solamente en presencia de oxígeno. El lactato representa el estadio final del

las magnitudes antes señaladas, se puede tener una idea de lo pesado que puede ser un polisacárido. Los polisacáridos se clasifican en base a los monosacáridos que los forman. Los polisacáridos son elementos importantes en la estructura de las plantas y en el esqueleto de muchos animales: la celulosa de los árboles y la quitina de los insectos son dos ejemplos de ello.

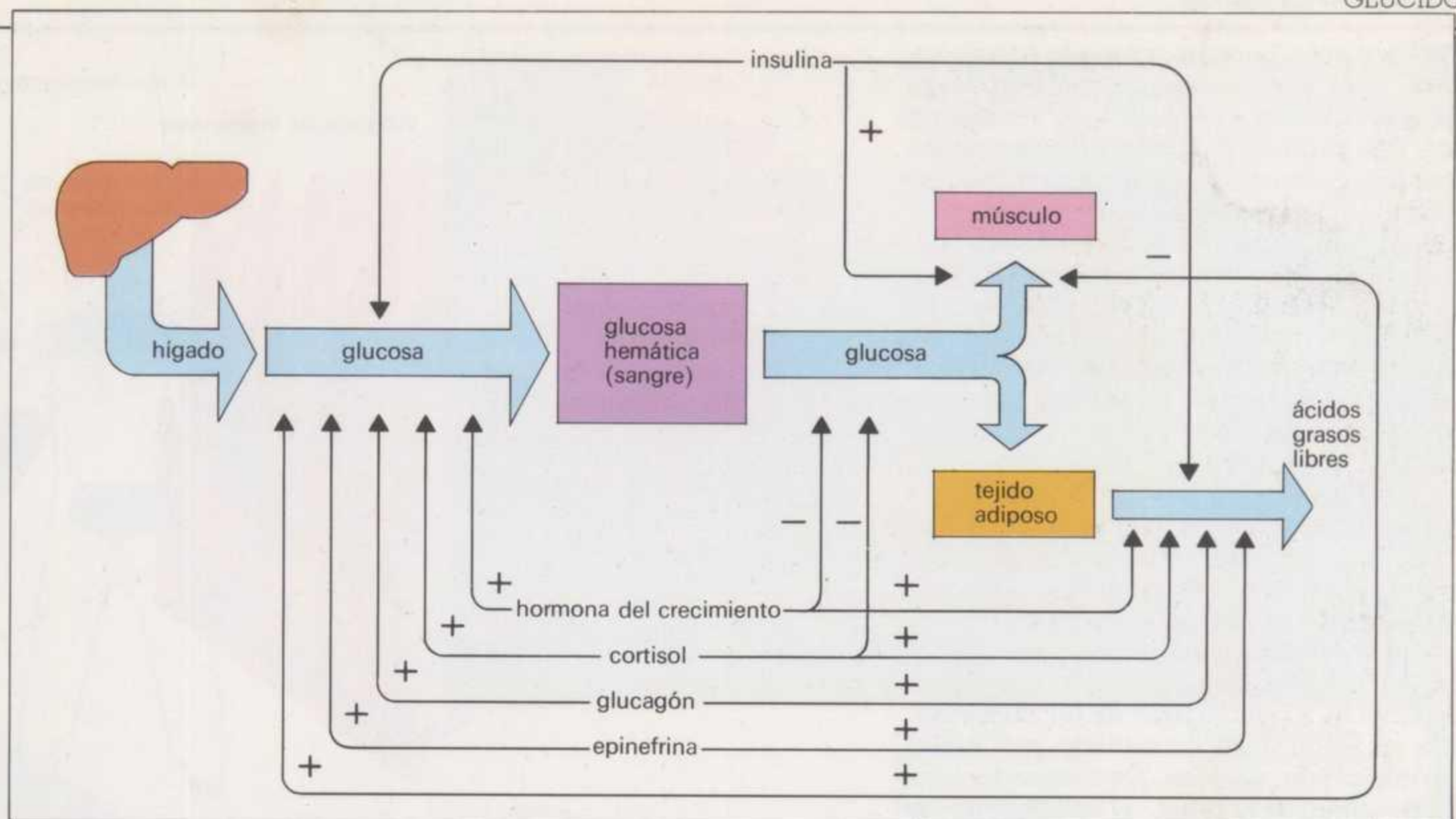
Los glúcidos en el cuerpo Los glúcidos constituyen una fuente de energía, ya que pueden ser rápidamente utilizados por el organismo: la glucosa, por ejemplo, puede ser utilizada directamente por las

metabolismo en la anaerobiosis. La típica sensación de calambres que todos hemos experimentado después de un

esfuerzo prolongado que ha eliminado las reservas aeróbicas de los músculos es debida a la acumulación de ácido láctico.



La figura muestra la regulación hormonal de la concentración de glucosa en la sangre. La disminución de glucosa hemática activa la secreción de cortisol, de la hormona del crecimiento, del glucagón, de la epinefrina y reduce la producción de insulina. El aumento de glucosa incrementa la secreción de insulina y de la hormona del crecimiento. En todo este proceso, el páncreas —donde se produce la insulina— desarrolla un papel fundamental. Abajo se ve cómo la sangre lleva los esofosfatos de los alimentos desde el intestino al hígado, y a partir de él distribuye al músculo la glucosa utilizada como material energético.



células. Sin embargo, no todos los glúcidos pueden ser utilizados por el organismo humano. Un notable ejemplo de ello es el constituido por la celulosa, la cual, no obstante, produce un efecto benéfico, ya que, en forma de escoria, pasa sin ser digerida a través del cuerpo y contribuye a estimular la función y el movimiento del intestino. La lactosa, un disacárido, es el glúcido más importante contenido en la leche y es uno de los alimentos más notables.

La alimentación humana está constituida en un 50-60% por glúcidos. Estos son asimilados en forma de monosacáridos (los glúcidos superiores tienen que ser di-

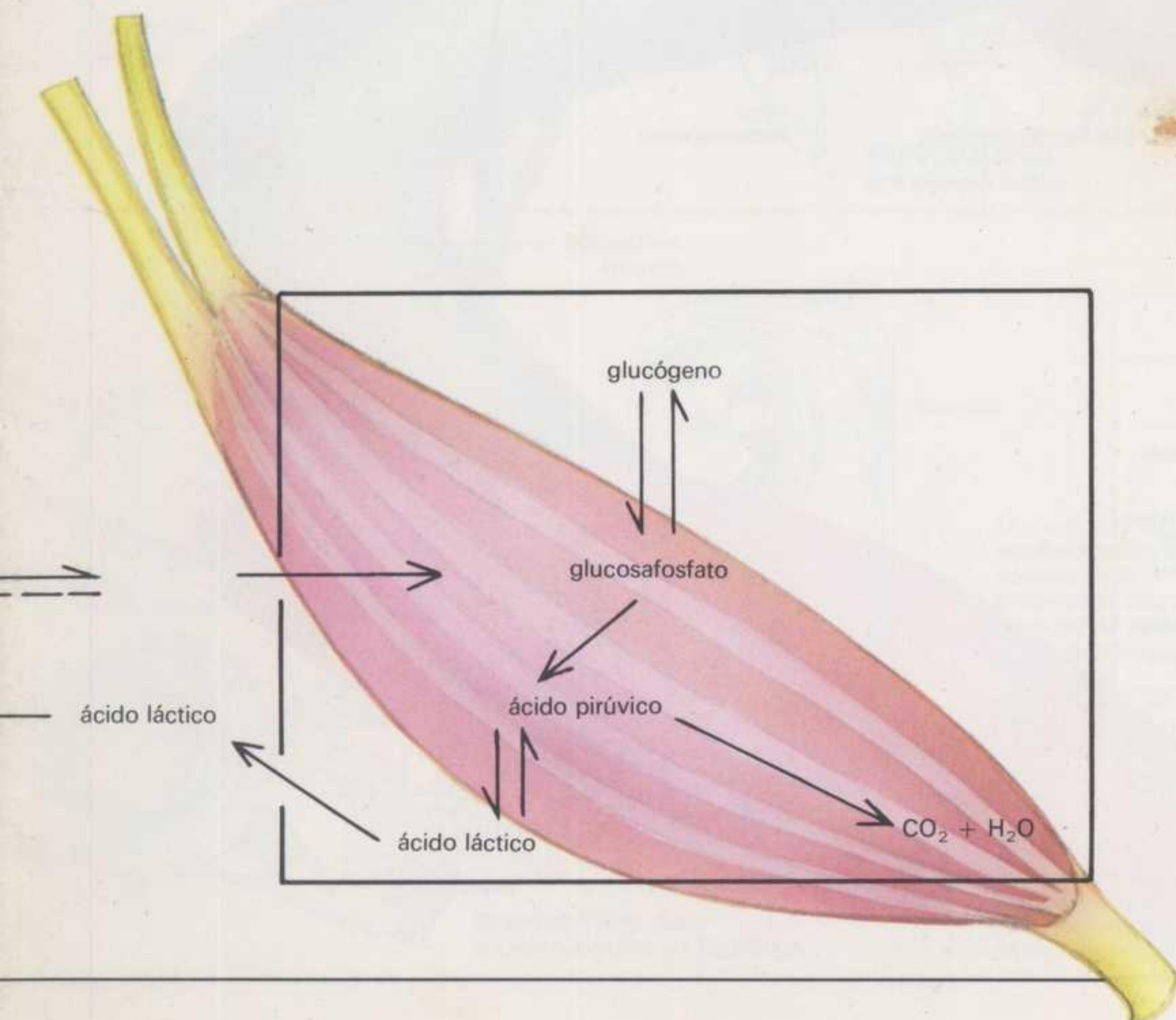
geridos antes de la asimilación). La glucosa, la fuente de energía más importante para las células, es destruida (con un proceso llamado *glucolisis*) por medio de la acción de distintos enzimas. La D-glucosa, la forma de glucosa utilizada por el organismo, está constituida por un anillo de átomos de carbono con un grupo alcohólico (CH_2OH) en un extremo. La glucosa es transformada en ácido pirúvico por los enzimas y como resultado final se obtiene la formación de adenosintrifosfato o ATP, un compuesto con un elevado contenido energético. Con los glúcidos más complejos, es decir, los almidones, el organismo tiene que desarrollar un trabajo mayor

para obtener energía. En la boca, la amilasa, un enzima que inicia la digestión del almidón, empieza a dividirlo en los azúcares constituyentes, maltosa y glucosa. Este proceso continúa en el estómago, pero la mayor parte del almidón es digerida en el intestino delgado.

Los azúcares simples que se obtienen son absorbidos e introducidos en la circulación sanguínea y sucesivamente depositados en el hígado, donde se forma el glucógeno (constituido por cadenas altamente ramificadas de glucosa). Cuando el cuerpo tiene una necesidad inmediata de energía, activa los enzimas que están presentes en el hígado, los cuales actúan sobre las cadenas del glucógeno liberando moléculas de glucosa. Estas llegan, siempre a través de la sangre, hasta las células donde son utilizadas.

El debate sobre los glúcidos Los glúcidos se encuentran en las patatas y en los cereales, en la fruta y en las verduras. Por algún tiempo se ha creído que estos alimentos engordaban. En realidad, un gramo de glúcido suministra 4 calorías —la misma cantidad suministrada por las proteínas, pero inferior a la suministrada por las grasas, que es de 9 calorías por gramo—.

Muchos expertos en problemas de nutrición se inclinan ahora a favorecer una alimentación basada en un mayor aporte de glúcidos respecto a la alimentación habitual de los pueblos occidentales; los expertos consideran los glúcidos una fuente más eficaz de sustancias nutritivas que las proteínas y las grasas, con un menor número de subproductos tóxicos para la digestión y menos trabajo por parte del hígado y de los riñones.



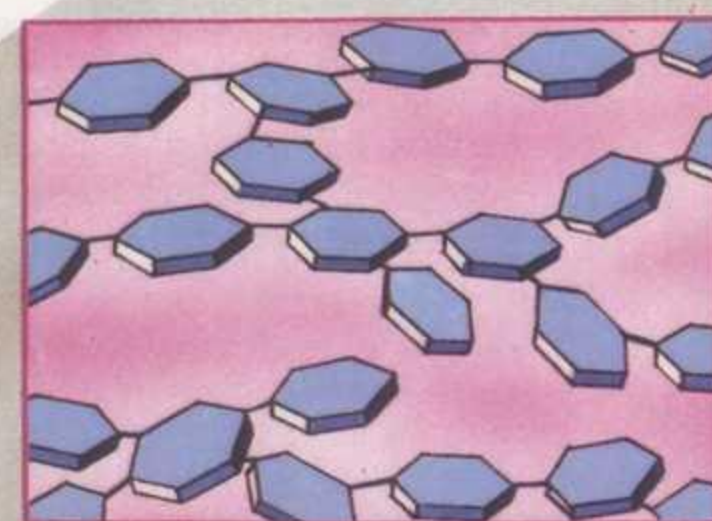
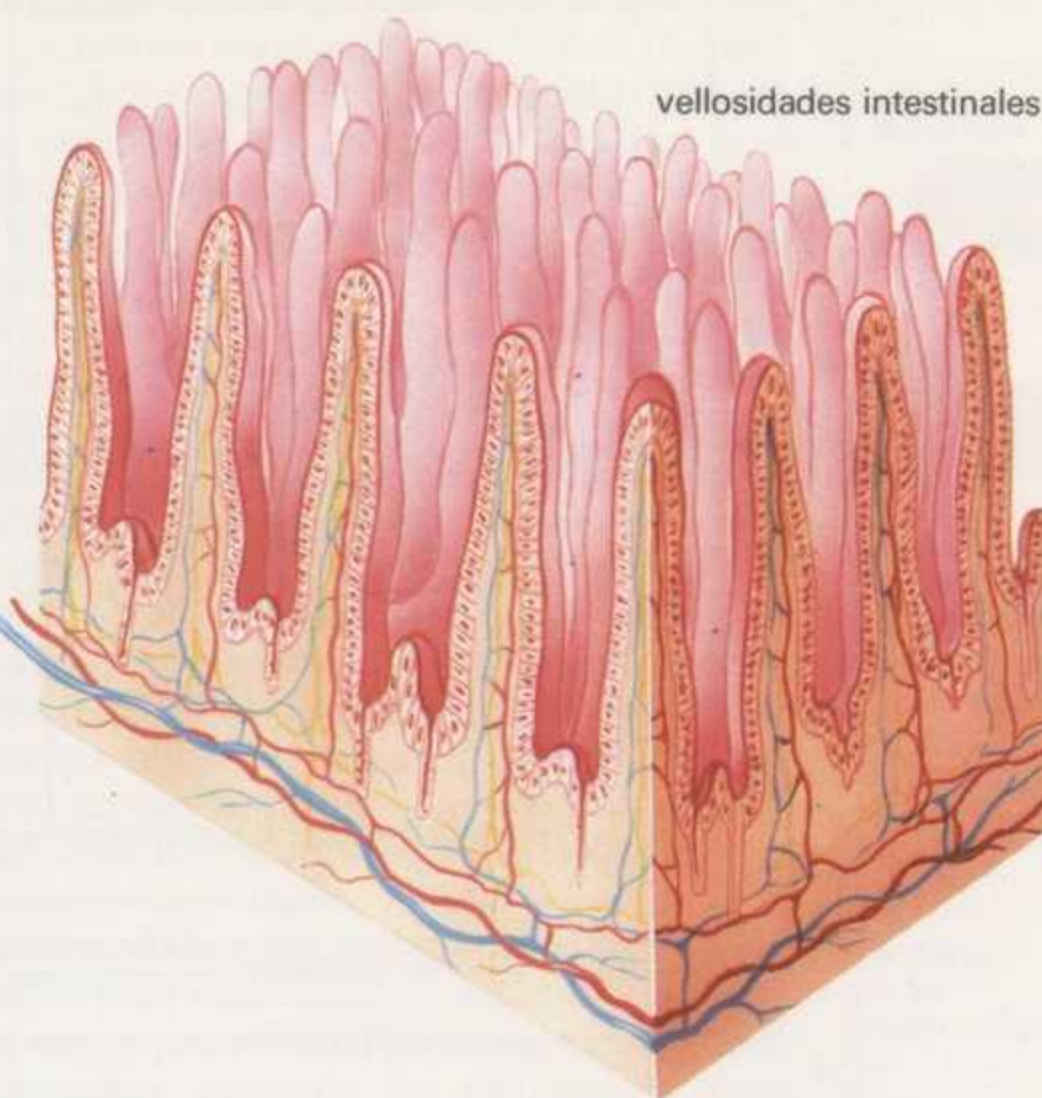
Véase Alimentación, carencias; Alimentación y nutrición; Alimentos; Bioenergética; Caloría; Fotosíntesis; Glucógeno; Metabolismo

Glucógeno

El cuerpo humano extrae la fuerza necesaria para su funcionamiento de su propio sistema energético. A semejanza de una fábrica, el organismo recibe las materias primas, las transforma en productos utilizables, envía algunos de estos productos para su consumo inmediato y conserva el resto en unos "almacenes" adecuados. Sin esta capacidad para almacenar la energía en el propio organismo, las personas deberían estar continuamente comiendo, con el fin de producir la energía suficiente para el mantenimiento de las funciones vitales.

Sin embargo, y afortunadamente para nuestro organismo, éste es capaz de realizar una serie de transformaciones químicas mediante las cuales, entre otras cosas, los hidratos de carbono se transforman en glucógeno y, acumulados en esta forma, se almacenan para ser utilizados posteriormente. El glucógeno es un *polisacárido*, es decir, está constituido por varias unidades de glucosa. Denominado también *almidón animal*, el glucógeno se

del glucógeno. Desde el hígado, la glucosa pasa, a través de la circulación sanguínea, al tejido adiposo, en donde se transforma en grasa, y a los músculos, donde puede volver a acumularse en forma de glucógeno. Cuando es necesaria la producción de energía, el glucógeno se une a grupos fosfato por medio de un enzima y de otra sustancia, el ATP, y mediante un proceso inverso a la síntesis se liberan del glucógeno las moléculas de glucosa, la cual está ya disponible para ser utilizada como "combustible" y proporcionar energía.



porción de la molécula ramificada de glucógeno

El glucógeno es la sustancia que constituye la reserva de glucosa utilizable por los músculos para obtener energía. En el esquema de esta página se observa el recorrido de la glucosa desde las vellosidades intestinales (donde llega con la ingestión de alimentos) hasta el hígado. En este órgano tiene lugar la síntesis

vena porta

hígado

glucógeno hepático

vena suprahepática

circulación general

músculo

ALTERACIONES DEL GLUCOGENO EN EL ORGANISMO (GLUCOGENOSIS)

Tipo de glucogenosis	Organo afectado	Estructura del glucógeno	Enzima ausente
I	hígado, riñón	normal	glucosa-6-fosfatasa
II	todos	normal	—
III	hígado, músculo	cadena pequeñas ramificadas	amilo-1,6-glucosidasa (derramificante)
IV	corazón, hígado	ramificación limitada	enzima ramificante
V	músculo	normal	fosforilasa muscular
VI	hígado	normal	fosforilasa hepática

acumula en el hígado y en los músculos de los animales superiores, así como en los tejidos de los animales inferiores. El glucógeno se encuentra, además, en los microorganismos, como las bacterias y hongos, y en las levaduras.

El almacenamiento de las reservas energéticas La transformación del alimento en glucógeno puede ser comparada a la apertura de una cuenta bancaria. Si se tiene la fortuna de poseer mucho dinero, será ilógico gastárselo completamente de una vez o guardarlo en un cajón; para evitar su pérdida o su deterioro, es preferible depositarlo en un banco. El importe del depósito puede verse posteriormente incrementado con los intereses que se producen con el paso del tiempo; y, por otra parte, siempre que surja la necesidad de disponer de dinero en efectivo, existirá la posibilidad de retirar del banco la suma requerida.

Una situación similar tiene lugar con el alimento. Una vez asimilado, el alimento se transforma y se acumula en "cuentas bancarias" apropiadas distribuidas por todo el organismo. Cuando, con la alimentación, se asimilan los hidratos de carbono, éstos primeramente se transforman en *glucosa* (un monosacárido), azúcar de composición simple que forma parte del azúcar común.

La glucosa es transportada a través de la circulación sanguínea a todas las partes del organismo. Esta sustancia representa el "dinero" o el combustible del organismo. La glucosa, sin embargo, no puede ser acumulada como tal, sino que, mediante un proceso bioquímico denominado *glucogénesis*, las moléculas de glucosa se unen entre sí para formar el glucógeno, un polisacárido que sí puede ser acumulado en el organismo. Durante las fases iniciales de este proceso, los *enzimas* modifican la composición química de la glucosa. (Los enzimas son proteínas que inician o aceleran las reacciones químicas y que por lo general no se ven modificadas por esas reacciones).

En la fase final de la glucogénesis, los enzimas unen entre sí las unidades modificadas de glucosa, formando la molécula de glucógeno, la cual puede posteriormente experimentar ampliaciones mediante la adición de nuevas moléculas de glucosa. Los puntos de nuestro organismo donde tienen lugar los procesos de la glucogénesis son el hígado y los músculos esqueléticos.

Reactivación de las fuentes energéticas El glucógeno queda depositado en el "banco" —constituido, por ejemplo, por el hígado—, hasta el momento en que el organismo necesite una cierta cantidad del mismo para obtener energía. Cuando se produce esa necesidad, el glucógeno se escinde en moléculas de glucosa simple mediante un proceso denominado *glucogenolisis*. Dicho proceso se lleva a cabo mediante una reacción química llamada *fosforilación* (por el nombre del en-

En la dieta humana están presentes sustancias como la maltosa, la lactosa y la sacarosa, disacáridos de los que se obtiene, por escisión, la glucosa, la galactosa y la fructosa. De estas sustancias se forma, por síntesis, la cadena de los polisacáridos. En el cuerpo humano la escisión de los disacáridos, que se toman con el alimento, tiene lugar en el aparato digestivo. En la imagen superior se ve cómo los monosacáridos se

unen con sus moléculas cíclicas para formar la cadena ramificada de un polisacárido. A la izquierda, en el esquema de la página anterior, de arriba abajo: las vellosidades intestinales recogen las unidades de monosacáridos y las envían a través de la vena porta al hígado, donde las células hepáticas llevan a cabo la síntesis, a partir de los monosacáridos, del glucógeno, que es un polisacárido que se

forma en el hígado como material energético de reserva. El glucógeno constituye una cadena no sólo alargada, sino también ramificada. Su estructura puede observarse en el recuadro de la derecha de la página anterior. No toda la glucosa que llega al hígado se transforma en glucógeno; una gran parte de ella pasa directamente a la sangre, en la que suele encontrarse en una tasa del uno por mil. La glucosa en exceso

se transforma en glucógeno y, si la concentración de glucosa en la sangre desciende, el glucógeno de reserva del hígado se utiliza para proporcionar la energía precisada por los músculos. A través de la vena suprahepática, el glucógeno pasa, ya escindido en glucosa, a la circulación general y llega a los músculos, a los cuales transfiere su energía por medio de particulares reacciones químicas de oxidación.

zima que la cataliza, la *fosforilasa*). Para iniciar esta reacción enzimática, son esenciales unos compuestos químicos denominados *hormonas*.

Las deficiencias hereditarias de fosforilasas y de otros enzimas dan lugar a enfermedades relacionadas con el acúmulo de glucógeno y que, en conjunto, se denominan *glucogenosis*.

Los síntomas que aparecen son debidos a una elevada tasa de glucógeno en el hígado, con el consiguiente agrandamiento de este órgano, y a una simultánea disminución de los niveles sanguíneos de glucosa. Las consecuencias de tales enfermedades varían entre simples calambres musculares y la muerte en edad infantil. Los dos procesos, el de glucogénesis y el de glucogenolisis, regulan los niveles de azúcar en la sangre, proporcionando o extrayendo de la misma la glucosa según las necesidades.

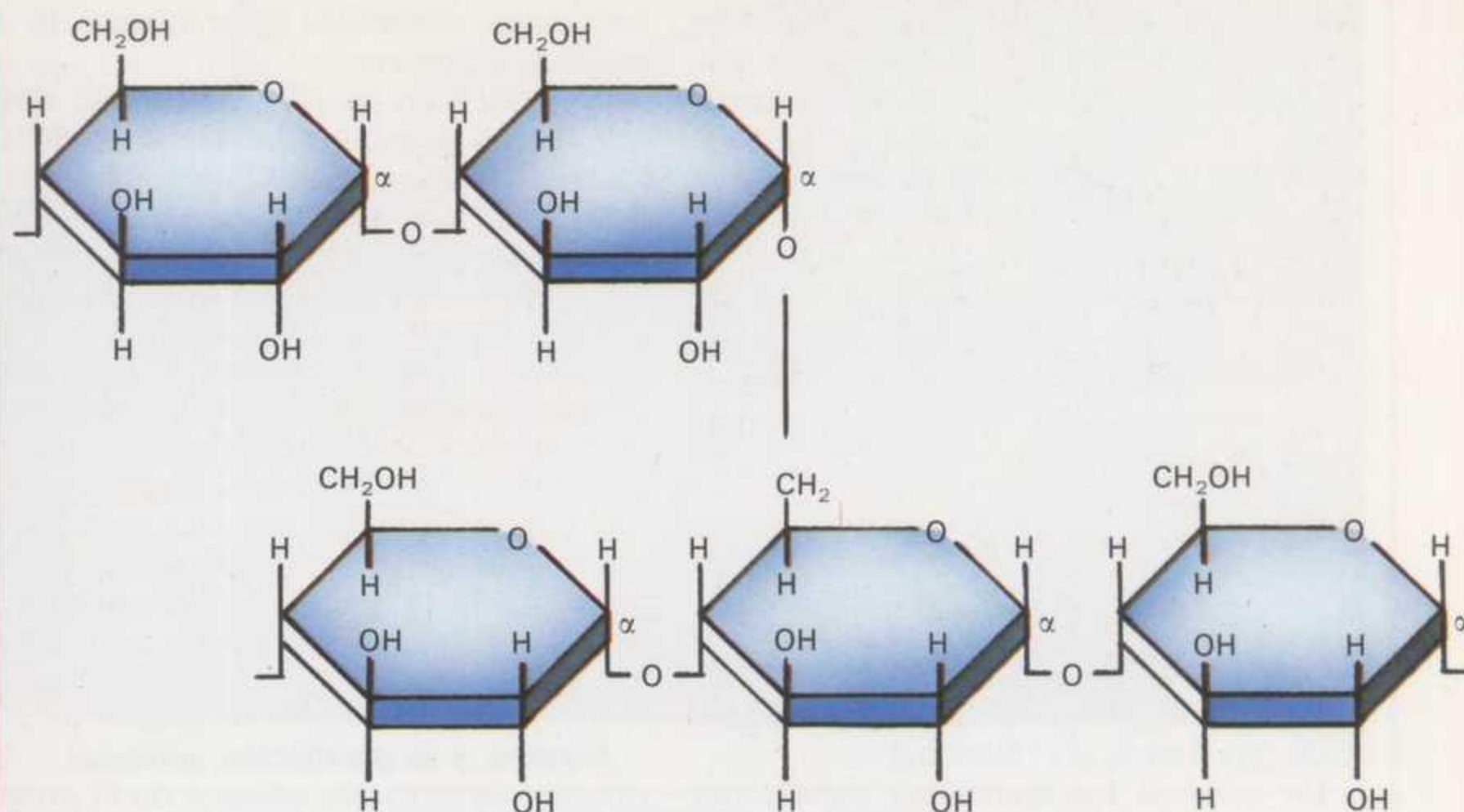
En condiciones normales, el funcionamiento energético del organismo se basa en la conversión de glucosa en ácido pirúvico con producción de energía. Esto es válido incluso para la cantidad de energía que necesitan los músculos; sin embargo, durante ejercicios físicos especialmente

fatigosos, los músculos que intervienen no reciben oxígeno en cantidades adecuadas para el desarrollo de las reacciones químicas que son necesarias para obtener la energía del glucógeno acumulado. En estas condiciones, los músculos utilizan el glucógeno de una manera distinta, a través de la *glucólisis anaerobia*. Los productos finales de este proceso, que tiene lugar en ausencia de oxígeno, son el ácido láctico y la energía generada. Cuando el ácido láctico se acumula, el organismo se encuentra en un estado de carencia de oxígeno. En una fase posterior, cuando se vuelve a disponer de oxígeno, el ácido láctico deja de formarse.

La síntesis de glucógeno permite al organismo humano el almacenamiento de hidratos de carbono para su posterior utilización. Los procesos que aquí han sido considerados ponen de manifiesto de un modo significativo la capacidad del organismo para generar y conservar su propia energía.

Véase **Enzimas; Hígado; Hormonas; Músculo**

MOLECULA DE GLUCOGENO CON SU ESTRUCTURA RAMIFICADA



Gravedad y gravitación

La **gravedad** es la atracción mutua entre dos cuerpos: su fuerza depende de la masa de éstos y de la distancia que los separa. Así, la fuerza del campo gravitatorio terrestre es proporcional a la masa de la Tierra y disminuye al alejarnos de ella. Esta ley de la gravitación universal fue establecida a partir de los datos proporcionados por las leyes de Kepler y las leyes fundamentales de la mecánica formuladas por Galileo.

Fuerzas y campos Se entiende por **fuerza** toda causa capaz de producir una modificación en el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo; mientras que los **campos** son las zonas del espacio en las cuales se perciben los efectos de una fuerza. Un campo gravitacional, por ejemplo, es una región en la cual una masa produce una fuerza gravitacional.

En general, los científicos consideran que en el Universo existen únicamente cuatro fuerzas fundamentales, y algunos, que incluso menos. Además de la gravitación, otra fuerza básica es el **electromagnetismo**, la fuerza responsable de los campos magnéticos, de los campos eléctricos, del destello luminoso, etc. Esta fuerza se ejerce únicamente sobre cuerpos cargados eléctricamente o imantados. Las otras dos fuerzas, la **nuclear fuerte** y la **nuclear**

débil, se ejercen únicamente sobre las partículas contenidas en el interior de los núcleos atómicos.

La gravedad es 10^{33} veces más débil que la siguiente fuerza en la escala de debilidad: la fuerza nuclear débil. El empuje producido por el ala de una mosca, comparado con la fuerza de un tornado, es mucho más significativo que la fuerza gravitacional comparada con cualquier otra. Sin embargo, como la mayor parte de los grandes objetos del Universo son eléctricamente neutros y, por tanto, insensibles a la acción de las fuerzas electromagnéticas, y como además las otras fuerzas conocidas existen únicamente en el interior del núcleo de los átomos, la gravedad parece ser la fuerza dominante en nuestro mundo.

Newton y la gravitación universal La primera descripción general de la gravedad fue publicada en 1687 en el tercer libro de los *Principia* de Isaac Newton. La gran intuición de Newton, estimulada por la caída de una manzana desde un árbol en la granja de su madre en Woolsthorpe, Inglaterra, no le llevó a afirmar que todos los cuerpos son atraídos hacia la Tierra por una fuerza llamada **gravedad** (que procede de la palabra latina que significa "pesadez"). Este hecho no necesitaba ser

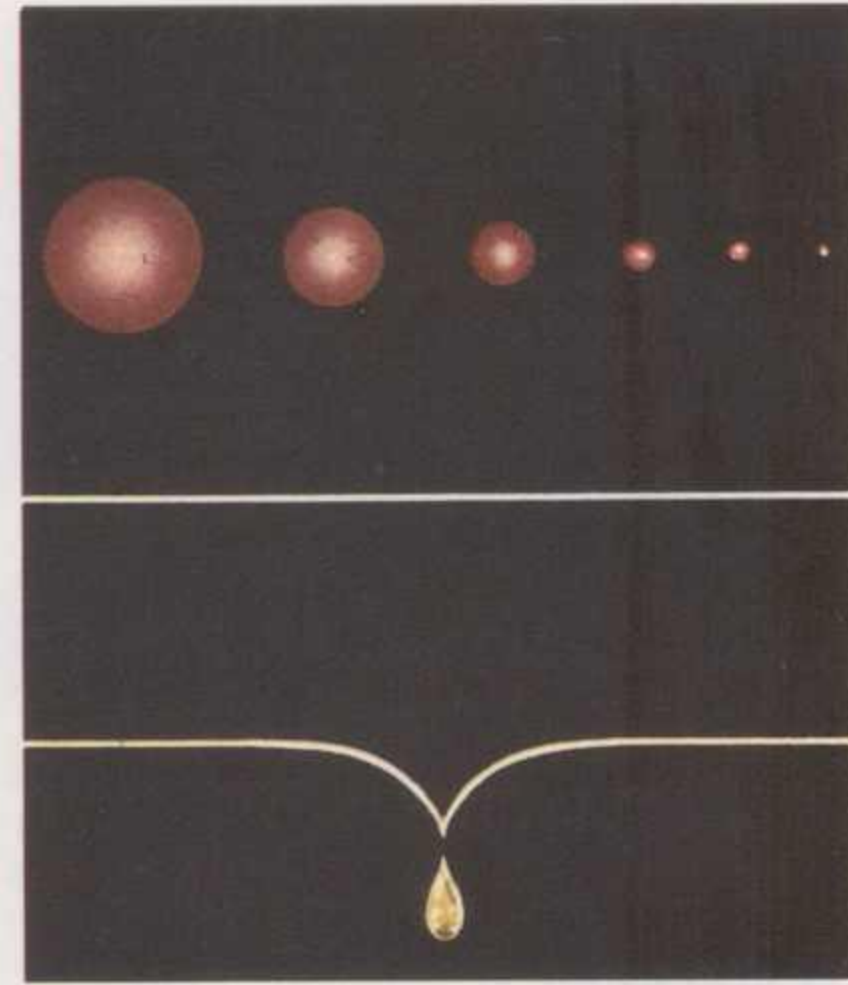
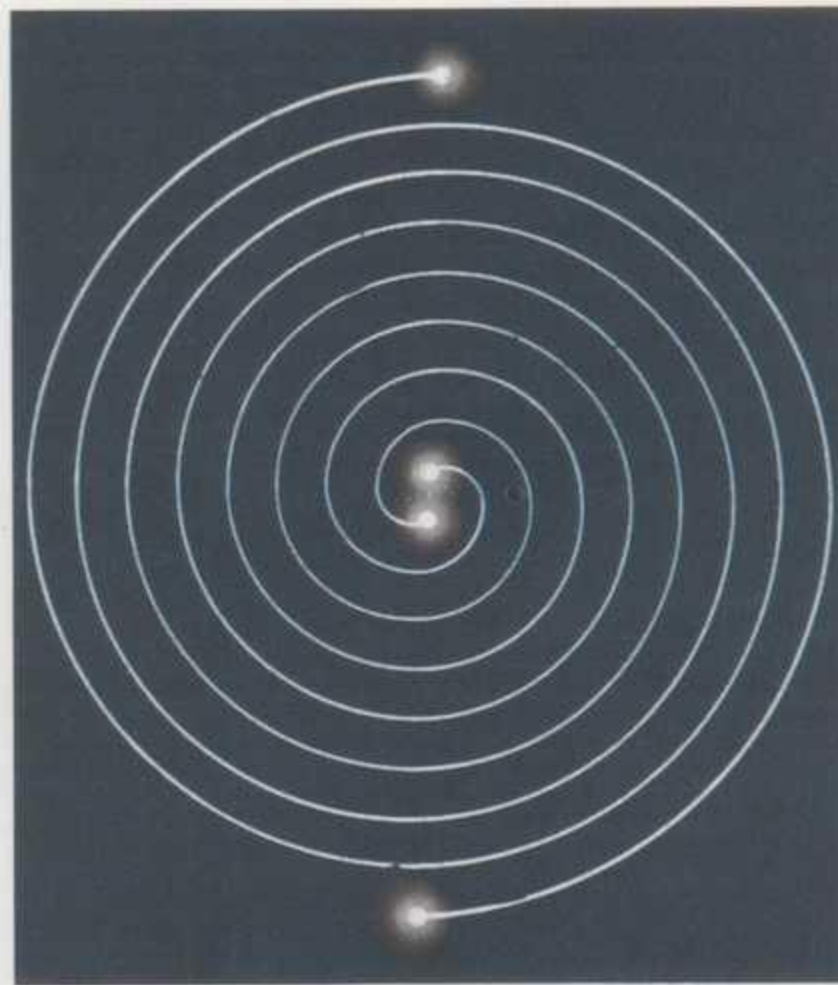
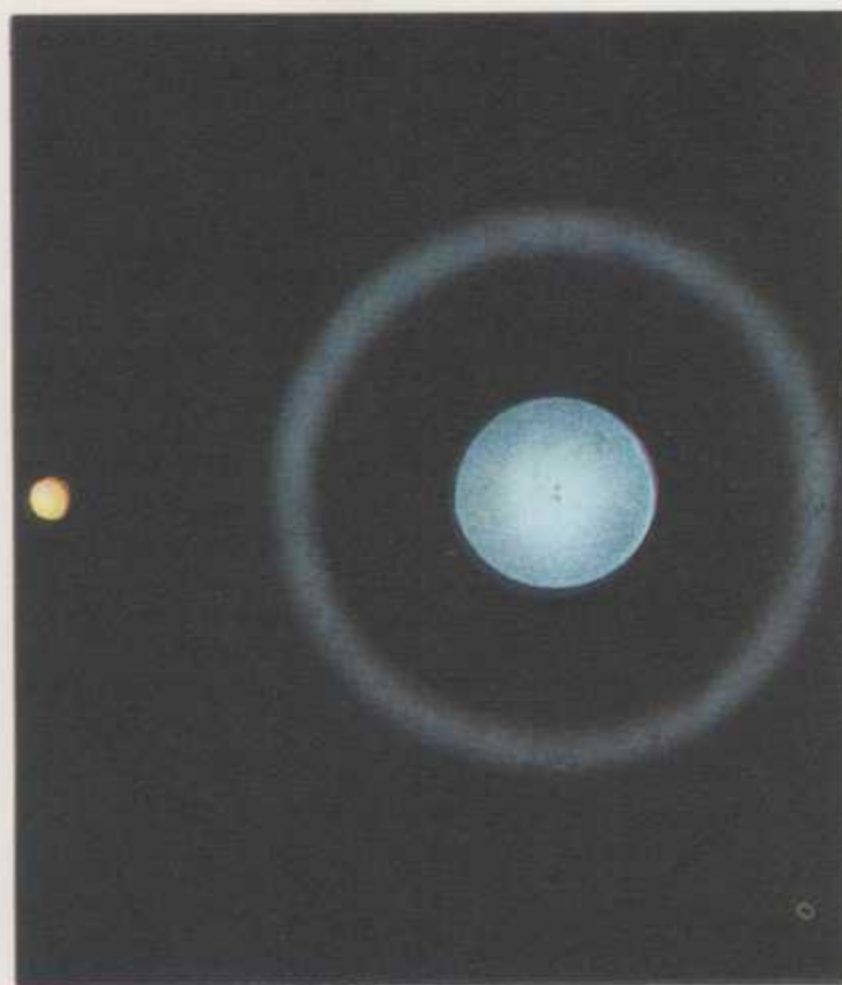
descubierto. El descubrimiento de Newton consistió en intuir que la misma fuerza que atrae la manzana hacia la Tierra podría explicar el movimiento de la Luna al rededor de la Tierra y, por lo mismo, el de la Tierra alrededor del Sol. En realidad, concluyó Newton, todos los cuerpos del Universo se atraen entre sí.

Newton también fue capaz de calcular el valor de la fuerza que dos cuerpos ejercen recíprocamente entre sí. Dicha fuerza es igual al producto de las masas de los dos cuerpos dividido por el cuadrado de la distancia que los separa y multiplicado por una constante. Esta ley, conocida con el nombre de **ley de la gravitación universal**, se expresa con la fórmula:

$$F = G \frac{mm'}{d^2}$$

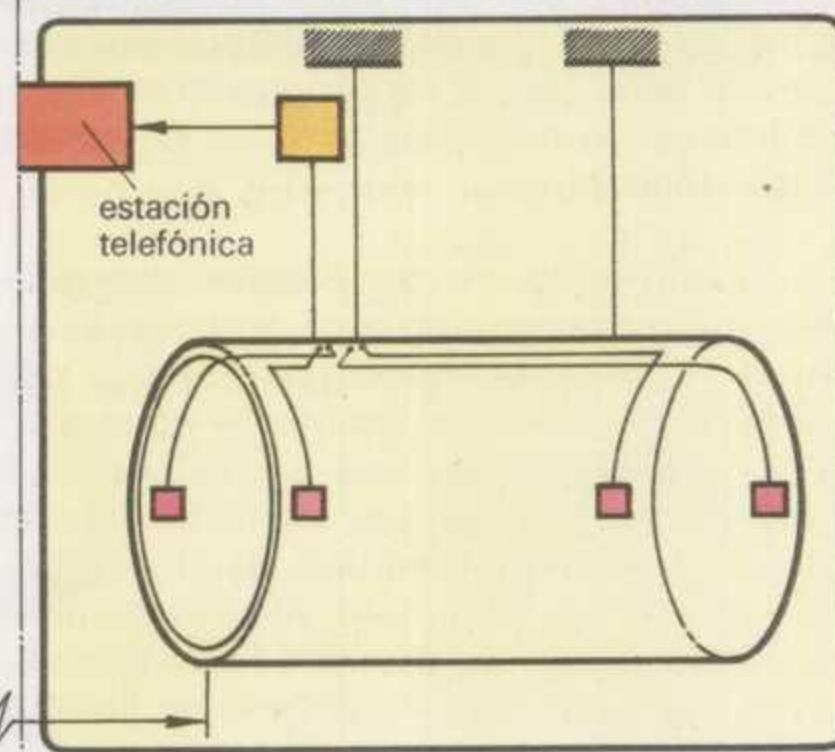
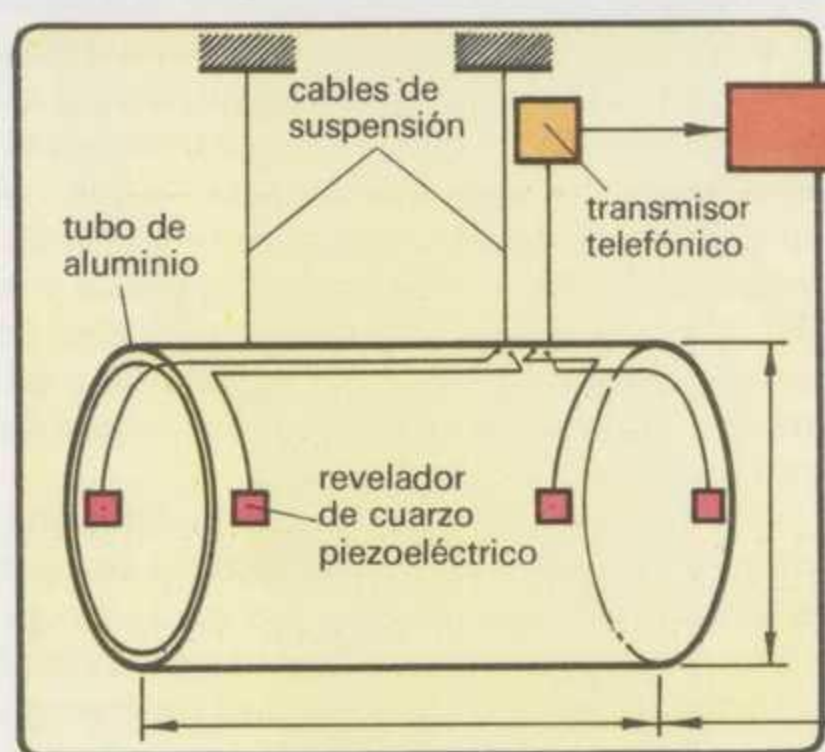
en la cual m y m' son las dos masas, d es la distancia entre los cuerpos y G es la constante de gravitación universal. El valor de esta constante depende de las unidades de medida empleadas para medir m y d . En general, estas magnitudes se expresan respectivamente en kilogramos (kg) y en metros (m): en este caso, G resulta igual a $0,0000000000667 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$.

La ley de la gravitación universal permite resolver el problema del movimiento de los cuerpos sometidos únicamente



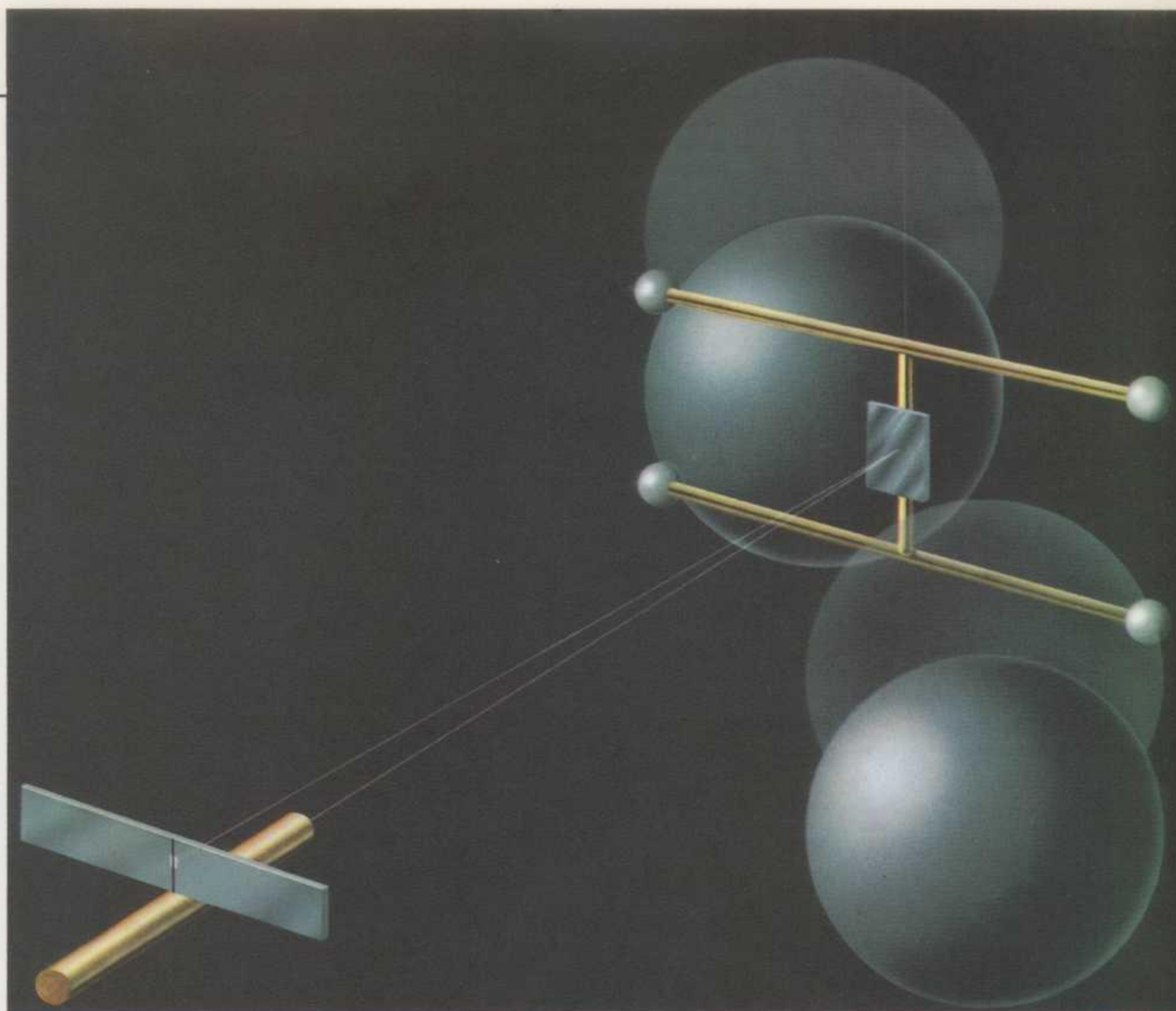
Entre las conclusiones que se extraen de las modernas teorías relativistas en el campo de la gravitación, está la que afirma que el campo gravitacional debe ser un fenómeno ondulatorio y dichas ondas deben mostrar una cuantización, es decir, deben estar formadas por "gravitones", unidades equivalentes a los fotones de los campos electromagnéticos. Hasta ahora apenas se conoce la existencia de las ondas

gravitacionales y se han postulado hipótesis razonables sobre sus posibles fuentes cósmicas. Una de estas fuentes podría ser (arriba, izquierda) la explosión de una supernova: el súbito cambio de distribución espacial de la materia de la estrella puede producir la emisión de ondas gravitacionales. Otra (arriba, centro), la rotación de una pareja de estrellas hiperdensas, o pulsares (aunque basta que únicamente una de las dos sea



hiperdensa), que produce una emisión continua de ondas, de manera que la energía que éstas sustraen del sistema hace que las estrellas sigan una trayectoria en espiral acercándose al centro de gravedad del sistema hasta que lo alcancen, colapsándose. Una tercera fuente (imagen de la derecha en la serie de tres de la página anterior) podría ser la formación de un agujero negro. Abajo del todo, en la página anterior, esquema de reveladores de ondas gravitacionales escalares. Ya en esta página, a la derecha, se muestra una sofisticada balanza de torsión para realizar mediciones de la constante de gravitación universal. Dicha constante es la que aparece en la fórmula que determina la fuerza que se ejerce entre dos masas. Puesto que la fuerza de la gravedad es apreciable únicamente

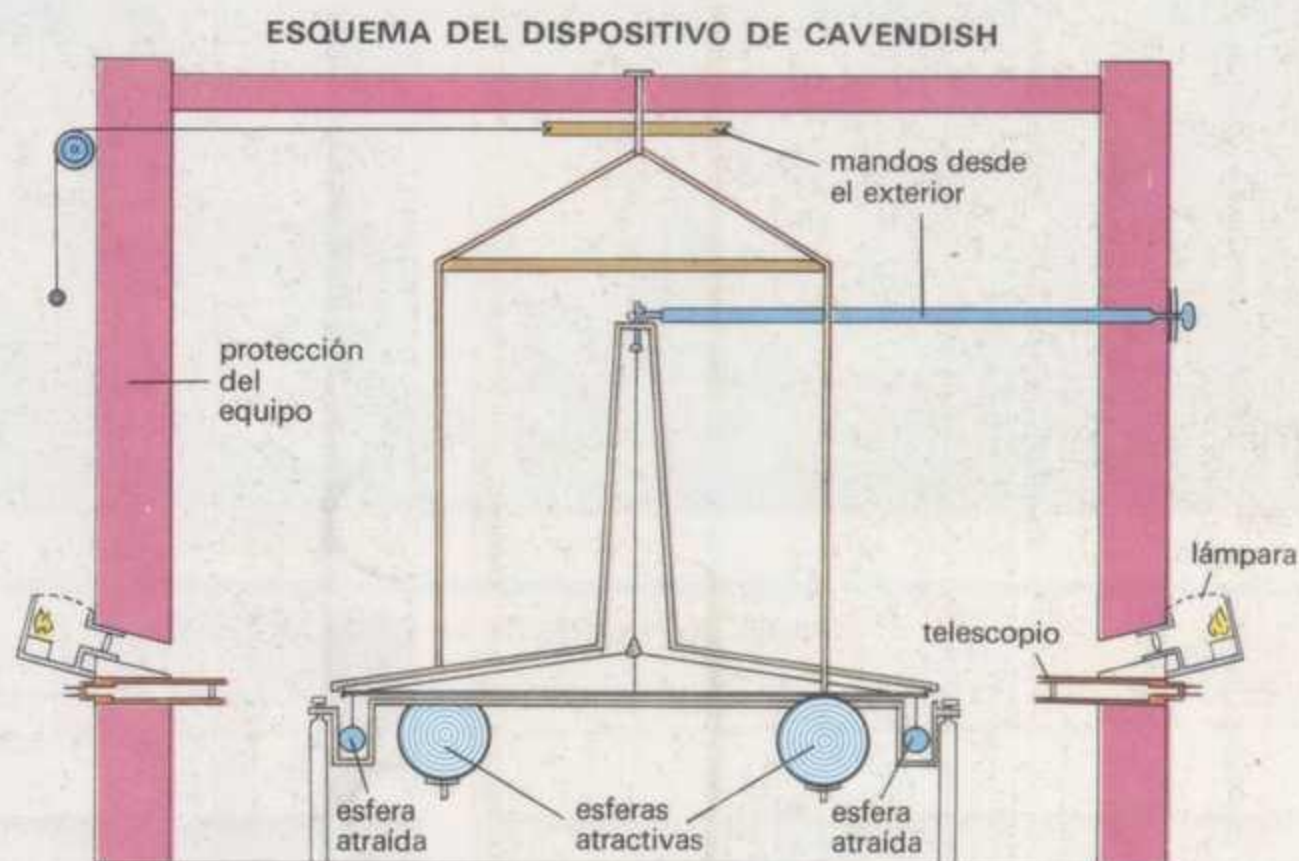
entre masas muy grandes, incluso de dimensiones astronómicas, en el laboratorio se trata de una medición muy delicada. Veamos en qué consiste la balanza de torsión. Dos varillas se cuelgan de un hilo de cuarzo metalizado, que se conecta a masa para evitar perturbaciones de origen electrostático. En los cuatro extremos de las varillas se encuentran sendas esferas idénticas y en el centro del conjunto se encuentra un pequeño espejo. Dos grandes esferas de plomo se acercan a A y B desde direcciones opuestas y la fuerza de atracción produce una pequeña rotación del conjunto de varillas. Un proyector envía un haz luminoso sobre el espejo y el reflejo incide sobre una escala graduada que permite medir la intensidad de la fuerza de atracción a través de la medida de la fuerza de reacción a la torsión del hilo.



a la fuerza de la gravedad. Si un cuerpo se mueve bajo el efecto de dicha fuerza, en todo punto del espacio que atraviesa estará, en general, sometido a una fuerza de distinta magnitud de la que actuaba sobre él en los puntos anteriores de su trayectoria y en los posteriores. Por lo tanto, la gravitación se encuentra en la base del cálculo de estos movimientos; pero, además de conocer la entidad de la fuerza que actúa en cada punto, es necesario disponer de un método de cálculo adecuado para poder sumar todos los efectos y llegar de este modo al cálculo de las trayectorias.

Einstein y la relatividad general En el momento del despegue de un cohete espacial, los astronautas se sienten empujados contra sus asientos por una fuerza que se asemeja a la gravedad pero que tiene una intensidad mucho mayor. Dicha fuerza aparente es debida a la aceleración del cohete, es decir, a la velocidad con la cual el mismo modifica su propia velocidad. En 1926, Einstein demostró que no se podía distinguir una fuerza producida por una aceleración de una producida por la gravedad. Esto constituye el llamado *Principio de equivalencia* —según el cual los efectos producidos por un movimiento acelerado y por la gravedad son equivalentes—, que es uno de los pilares de la Teoría general de la Relatividad enunciada por Einstein. El principio de equivalencia, junto a otras implicaciones de la Teoría de la Relatividad —como la idea de que masa y energía son dos formas distintas de una misma cosa—, revolucionó

En este modelo del experimento de medida de la constante de gravitación universal (a la derecha) se tiene una completa simetría en la colocación de las esferas atractivas y atraídas. Nótese la disposición de los telemandos para efectuar los desplazamientos sin perturbar la estabilidad del sistema. La débil rotación del equipo suspendido se mide desde dos lados opuestos para eliminar posibles efectos de falta de simetría.



las ideas convencionales sobre el espacio y el tiempo.

Por poner un ejemplo, recordemos que la trayectoria de un rayo luminoso ha sido tradicionalmente empleada para definir la línea recta. Sin embargo, puesto que la luz es una forma de energía, debe ser concebida como algo que posee masa y que por lo tanto está sujeta a la fuerza de un campo gravitacional. Einstein llegó a la conclusión de que sería incluso más sencillo afirmar que el espacio mismo se "curva"; la Tierra —como cualquier otra masa— curva el espacio a su alrededor. La gravedad, según Einstein, no es el nombre de una fuerza, sino la curvatura del espacio.

De acuerdo con las más recientes teorías, la gravitación es producida por partículas llamadas *gravitones*, del mismo

modo que la luz está formada por partículas llamadas *fotones*. Muchos científicos consideran que nos encontramos cerca de alcanzar una comprensión del comportamiento de los gravitones, en el sentido de que estamos próximos a elaborar una teoría aún más profunda que la enunciada por Einstein sobre la naturaleza de la gravedad. Tal teoría, llamada de la *supergravedad*, podrá, en último término, mostrar el modo en que la gravitación está ligada a las otras fuerzas de la Naturaleza, y nos ayudará a elaborar un cuadro completo de las fuerzas que mantienen unida la materia.

Véase **Fuerza y campos de fuerzas; Relatividad, teoría general de la; Relatividad restringida** ($E = mc^2$)

Gripe

Ya en el siglo V antes de Cristo, Hipócrates describió los síntomas típicos de la gripe: escalofríos, fiebre, malestar generalizado, tos y estornudos. Son unos síntomas totalmente similares a los que encontramos hoy día; no hay nada nuevo que añadir a la clínica de este trastorno. Con frecuencia se habla de la influenza, o gripe, con un progresivo descuido: "he cogido una gripe" es en nuestros días una frase frecuente que hace referencia a un "padecimiento estacional". Sin embargo, la gripe es una enfermedad que en este último siglo ha producido la muerte de millones de personas, que representa todavía un serio peligro estacional difundido por todo el mundo, y que afecta especialmente a los ancianos, en los que con frecuencia da lugar a complicaciones de mal pronóstico.

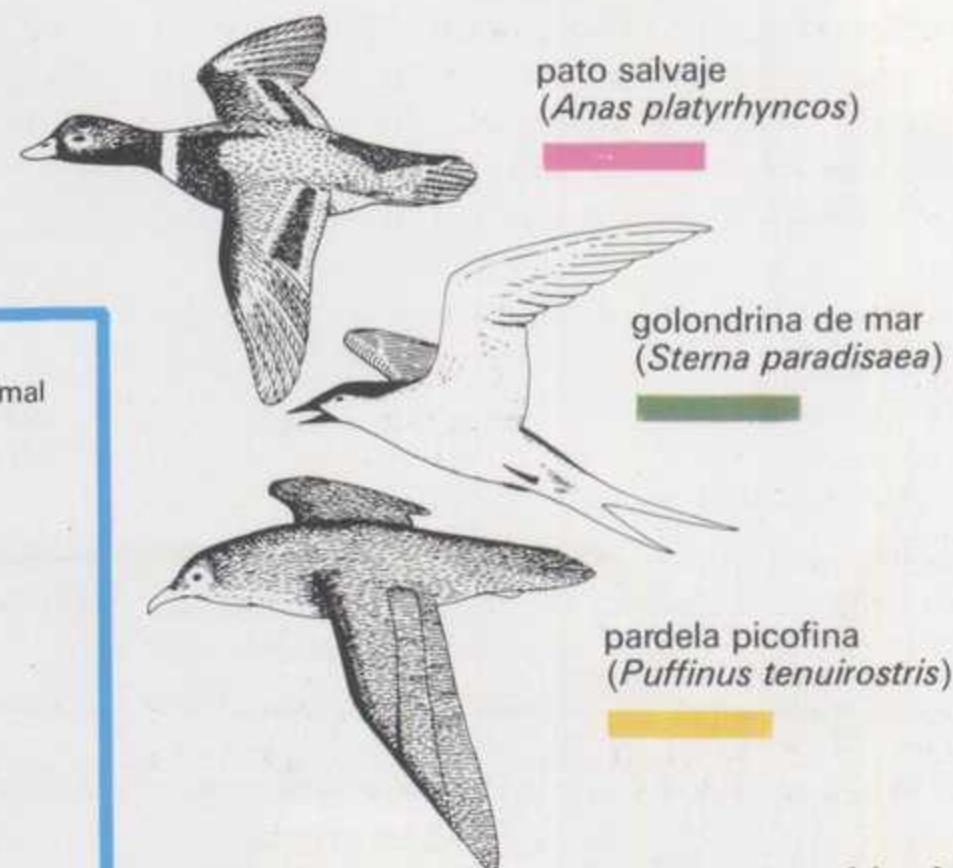
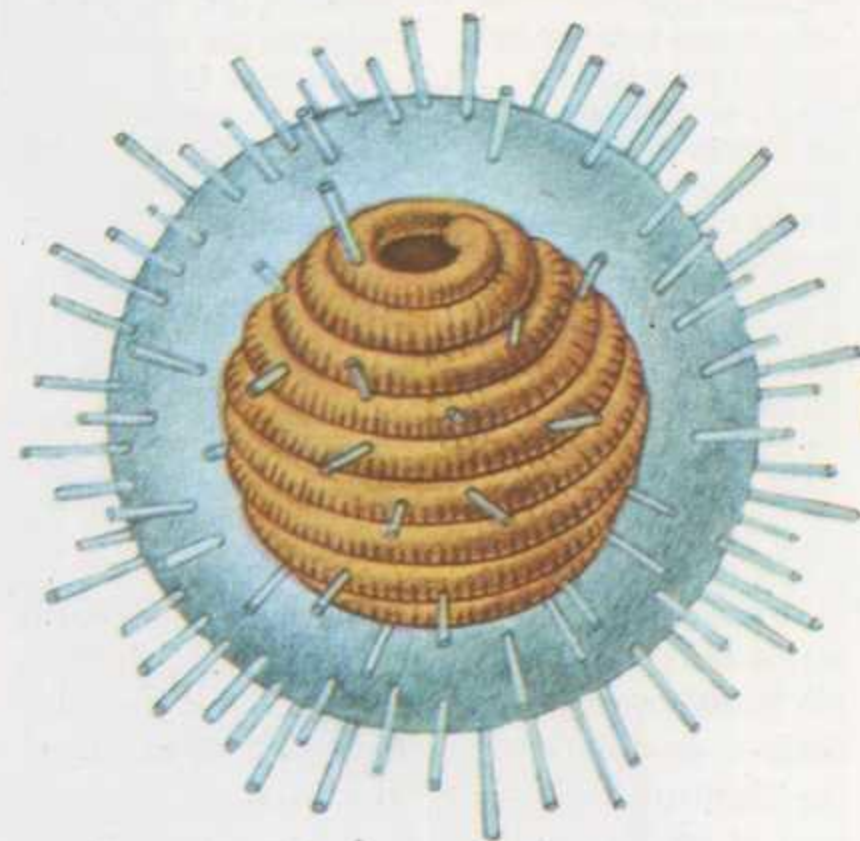
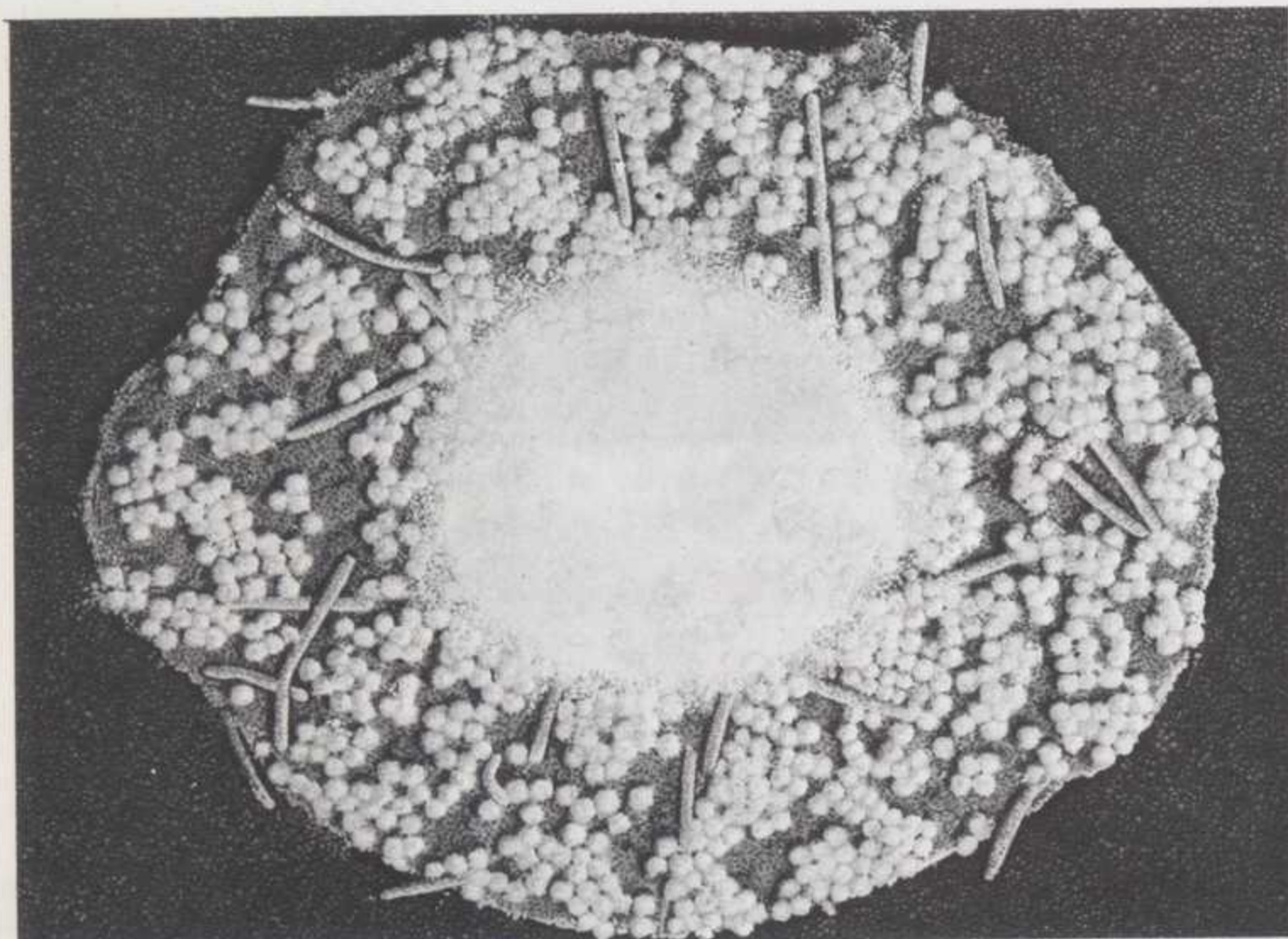
La gripe es una enfermedad viral que afecta principalmente a las vías respiratorias. Se trata de una enfermedad altamente contagiosa: durante la epidemia mundial de 1918 la contrajeron 900 millones de personas. El período de incubación es corto, entre 24 y 48 horas, y el trastorno puede dar lugar a complicaciones peligrosas y fatales.

En castellano los vocablos *gripe* e *influenza* designan una misma entidad nosológica, pero en general se utiliza preferentemente el término *gripe* para referirse al trastorno clínico, y el término *influenza*, de origen italiano, cuando se habla de los distintos tipos de virus productores de la enfermedad.

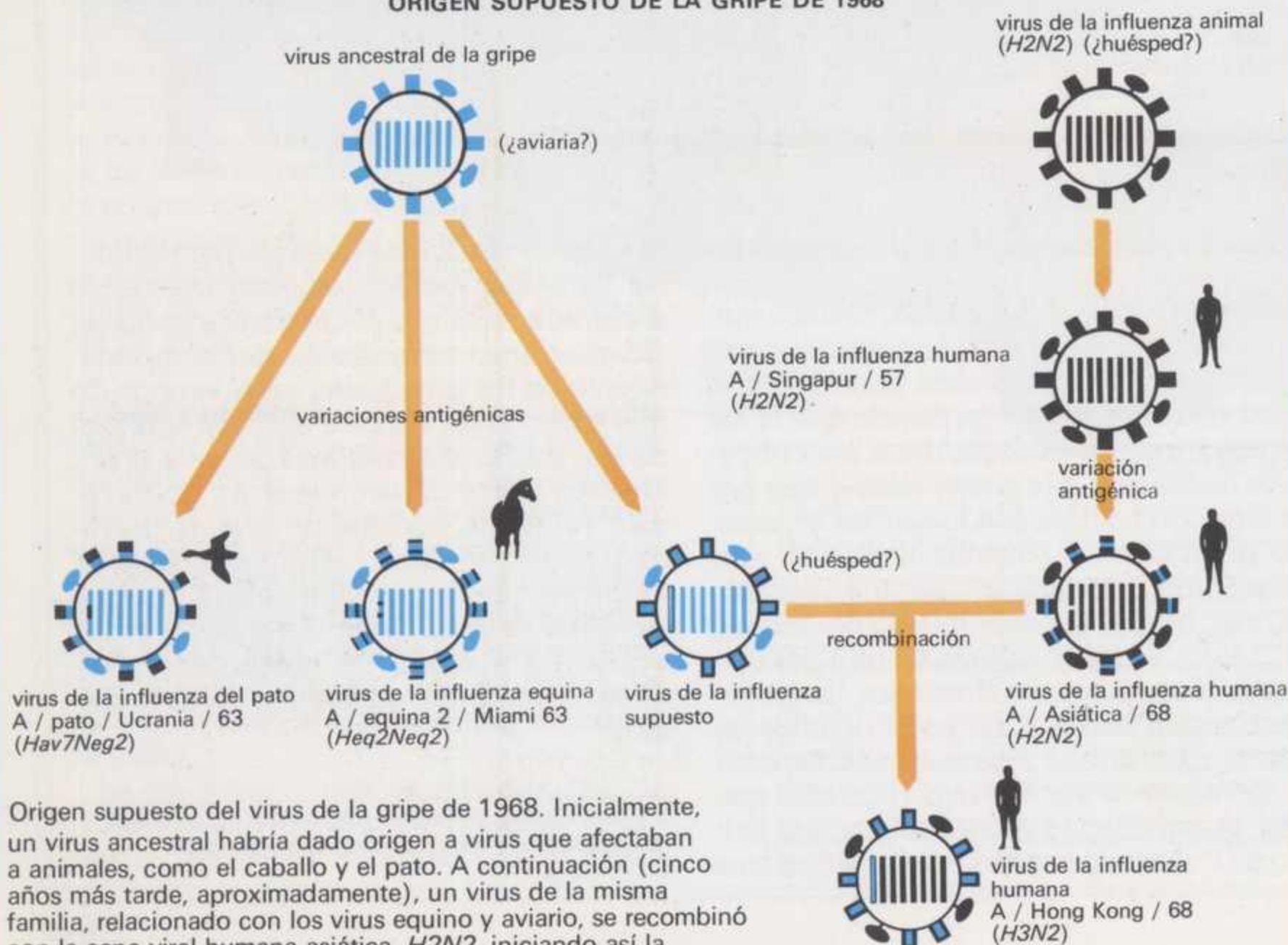
Fases de la infección gripal El trastorno comienza con el contagio con el virus

de la influenza. Este virus está formado por un delgado filamento de ARN recubierto de proteínas, que en conjunto tiene un diámetro de unos 100 nanómetros (1 nanómetro = 1 millonésima de milímetro). Los seres humanos pueden ser infectados por los virus pertenecientes a la cepa A, que tienden a originar epidemias de gran extensión, y por virus de la cepa B, que con frecuencia provocan focos epidémicos más circunscritos. Estos virus invaden las células epiteliales del tracto respiratorio y de los pulmones, del mismo modo que el virus del resfriado común ataca al epitelio nasal. Para los virus es imprescindible la invasión de las "células huéspedes", ya que sólo dentro de ellas son capaces de reproducirse y multiplicarse rápidamente.

Inmediatamente después del comienzo de la invasión, nuestro organismo reaccio-



ORIGEN SUPUESTO DE LA GRIPE DE 1968



na produciendo anticuerpos, moléculas especializadas en la defensa contra los ataques del exterior. Desgraciadamente, en el caso de la gripe, los anticuerpos sólo son capaces de reaccionar con los virus extracelulares, es decir, aquéllos que se encuentran fuera de las células epiteliales. La infección viral provoca también inflamación de las paredes internas de la nariz, con producción de moco. Esto diluye a los virus y los expulsa de la nariz.

La función del moco El proceso de fluidificación afecta simultáneamente a millones de células y produce una enorme



cantidad de moco. Si, en el caso del resfriado común, el resultado es desagradable para el paciente, en la gripe existe además un cierto peligro. En efecto, el moco podría llenar los pulmones y producir lentamente la asfixia del paciente al impedir la respiración, fenómeno relativamente frecuente en los niños pequeños y en las personas ancianas. Una situación parecida tiene lugar, en rarísimas ocasiones, cuando las vías respiratorias quedan bloqueadas por el moco sin que el enfermo llegue a liberarse del mismo.

Con frecuencia la gripe debilita tanto el aparato respiratorio, que en algún momento de su evolución pueden sobrevenir complicaciones, como las bronquitis y las neumonías bacterianas. Efectivamente: la combinación del moco con la temperatu-

ra corporal elevada constituye un medio de cultivo óptimo para las bacterias. Las personas ancianas y los enfermos crónicos están especialmente amenazados por estas complicaciones bacterianas, que convierten a la gripe en un serio peligro. En el año 1918, antes de que se difundiera la utilización de los antibióticos, una epidemia mundial originó la muerte de cerca de 20 millones de personas, de los cuales 12,5 murieron en el India en el curso de pocos meses.

Las mutaciones del virus La gripe es una enfermedad particularmente insidiosa para la especie humana, ya que el virus experimenta mutaciones continuamente. Desde el año de 1933, en que por vez primera se consiguió el aislamiento y

la identificación del virus de la cepa A, la estructura básica del antígeno viral se ha modificado completamente tres veces. El antígeno es la región del virus que determina la producción de los anticuerpos específicos por parte de las defensas orgánicas del huésped. Precisamente cuando el sistema inmunitario del hombre había sintetizado los anticuerpos adecuados contra el primer virus A2 (Asia), éste cambió completamente su estructura antigénica, de manera que en 1968 se había convertido en un virus totalmente distinto, y el sistema inmunitario humano no estaba aún preparado para combatirlo.

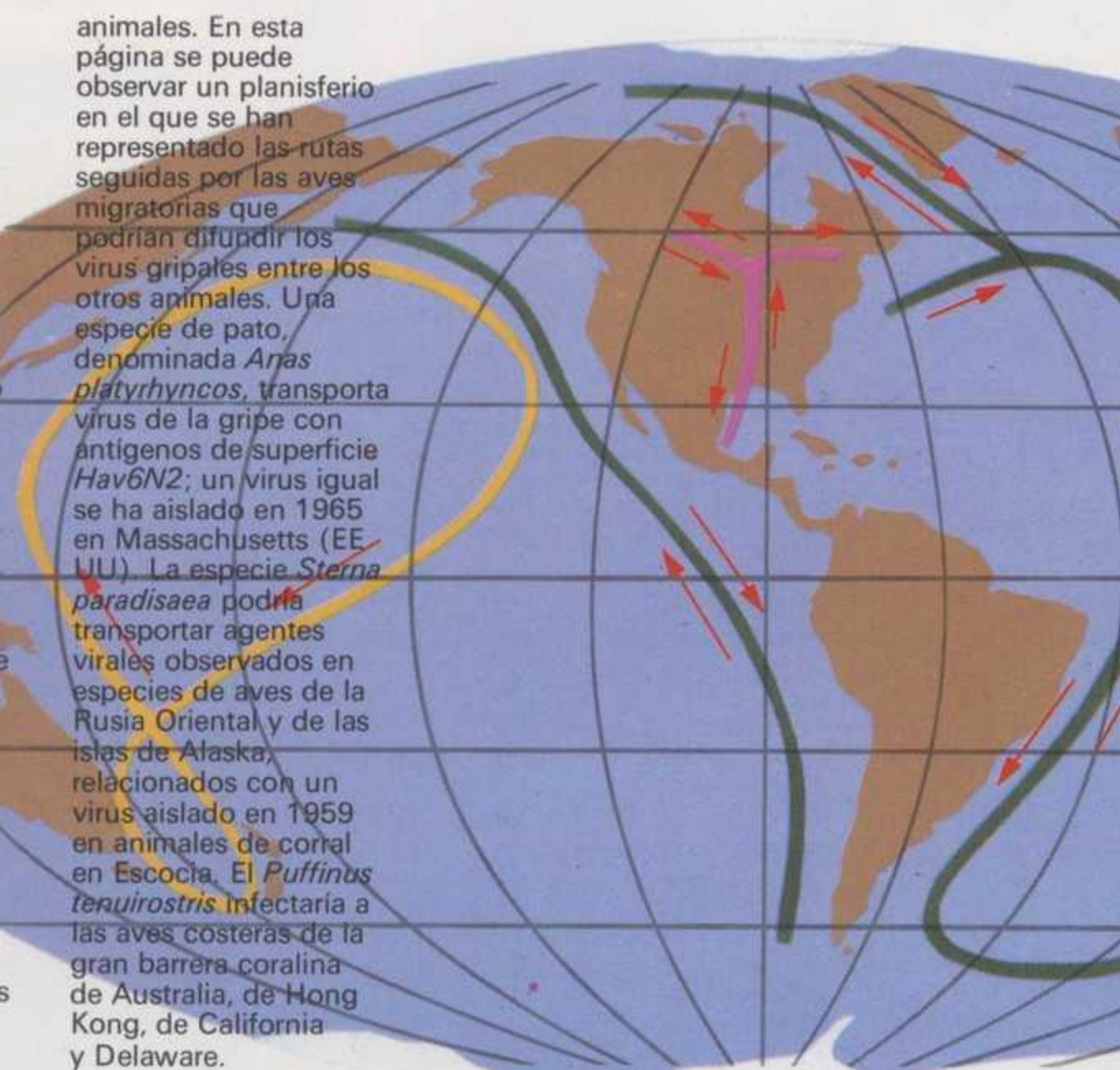
Cada vez que se aísla o se identifica una cepa de virus de la gripe, es posible posteriormente la preparación de nuevas vacunas útiles para prevenir la enfermedad. Desafortunadamente, no existen fármacos capaces de combatir al virus gripal; disponemos solamente de sustancias capaces de aliviar los síntomas.

A pesar de que el término *influenza* es un poco impreciso (hace referencia a la *influenza* —en italiano "influenza"— ejercida por el mal tiempo), tiene, sin embargo, su parte de razón. Las estaciones típicas de la influenza son, efectivamente, el otoño y el invierno. Son particularmente peligrosos, por la aparición de varias formas de gripe, los cambios bruscos de temperatura: por ejemplo, la transición de ambientes cálidos o excesivamente recalentados (como es el caso de teatros, oficinas, colegios, medios de transporte público, etc.) al exterior, donde existe una temperatura más baja, especialmente si se olvida abrigarse adecuadamente. Otros factores que facilitan la aparición de la gripe los constituyen los grupos o reuniones. La confluencia de numerosos individuos facilita enormemente la propagación de los virus, y de esta manera se difunden las ondas epidémicas.

Véase Analgésicos; Anticuerpos; Aspirina; Inmunidad; Vacunación

La gripe es una enfermedad viral tal como demuestran las dos microfotografías reproducidas. En la página anterior se puede observar una sección de tejido pulmonar en la que están presentes virus de la gripe; en esta página, sobre estas líneas, un glóbulo rojo de pollo invadido por el virus de la gripe, visto al microscopio electrónico. El dibujo que aparece en la página anterior representa una de las posibles estructuras del virus. Precisamente el origen viral de esta enfermedad ha permitido la preparación de vacunas antigripales disponibles en dos formas: una de ellas con virus íntegros muertos, y otra con una fracción del agente vírico. Los virus de la gripe afectan también a algunos

animales. En esta página se puede observar un planisferio en el que se han representado las rutas seguidas por las aves migratorias que podrían difundir los virus gripales entre los otros animales. Una especie de pato, denominada *Anas platyrhynchos*, transporta virus de la gripe con antígenos de superficie *Hav6N2*; un virus igual se ha aislado en 1965 en Massachusetts (EE. UU.). La especie *Sterna paradisaea* podría transportar agentes virales observados en especies de aves de la Rusia Oriental y de las islas de Alaska, relacionados con un virus aislado en 1959 en animales de corral en Escocia. El *Puffinus tenuirostris* infectaría a las aves costeras de la gran barrera coralina de Australia, de Hong Kong, de California y Delaware.



Grúas y aparatos elevadores

Las crecientes necesidades, en la industria y el comercio, de mover cargas pesadas han llevado a la construcción de gran variedad de grúas. La grúa *derrick* es uno de los tipos más difundidos. Son grúas de mástil giratorio y están compuestas por dos elementos estructurales principales: una torre de grandes dimensiones, que se mantiene verticalmente por algunos tirantes, y un brazo inclinado unido mediante una articulación a la base de la torre. Varios cables unen la parte superior de la torre con el extremo superior del brazo, determinando la inclinación de éste. Un segundo grupo de cables que discurre a lo largo de la torre y continúa por el extremo superior del brazo sirve para elevar las cargas. Cuando se hace girar mecánicamente la gran rueda horizontal sobre la cual están montadas tanto la torre como el brazo inclinable, la grúa entera gira, desplazando la carga de un lado a otro. El brazo y la articulación de rotación

están fijados directamente a uno de los pisos más altos del edificio en construcción, y algunos cables unen el extremo del brazo a dos elementos laterales situados en el edificio, que controlan el movimiento en sentido lateral.

Uno de los tipos de grúa más difundidos en los trabajos de construcción es la *grúa automóvil*, cuya estructura esta montada sobre una base móvil, pudiéndose mover sobre ruedas neumáticas u orugas similares a las de los tanques. Cables adecuados o gatos hidráulicos controlan el ángulo del brazo (que puede llegar a medir 40 metros).

Las grúas automóviles tienen diversos usos, sobre todo para trabajos no continuos. Las grúas flotantes se utilizan para trabajos portuarios y marítimos, para rescate en el mar, etc.; como norma, se instalan sobre portones o bien sobre barcasas remolcadas.

La *grúa-torre* es un tipo usado para grandes trabajos de construcción y constituye una imagen corriente en las grandes ciudades. Consiste en una torre alta

con un brazo largo horizontal unido a su parte más alta, alrededor de la cual puede girar de un lado a otro. De los carriles, que cubren toda la longitud del brazo móvil en su parte inferior, se sujeta un carro móvil sobre ruedas, desde el que descienden los cables de elevación.

Otros tipos de grúas Las *grúas-puente* presentan una estructura similar a la de un puente metálico: Están constituidas por una viga de malla reticulada metálica apoyada en sus extremos en carriles de rodadura; la viga tiene también unas guías para que se mueva el carro. Se utilizan sobre todo en almacenes y fábricas porque tienen la ventaja, comparadas con las otras grúas, de que no invaden con sus estructuras las superficies que cubren.

Las *grúas-pórtico* tienen los carriles de traslado situados al mismo nivel donde se realizan los trabajos; están constituidas por una estructura de carga y descarga. Se utilizan generalmente al aire libre, sobre todo en los puertos y en las estaciones ferroviarias.

Los *blodin* (grúas-cable) son, en su funcionamiento, similares a las grúas-puente, con la diferencia de que en los *blodin* el carro de elevación, en vez de circular por carriles rígidos, circula sobre cables portadores. Los cables portadores pueden estar anclados a pilares fijos (el carro cubre sólo una línea recta), a un pilar fijo y uno móvil a lo largo de un arco de circunferencia (el carro cubre un sector circular) o bien a dos pilares móviles (la zona cubierta es rectangular). Se usan en la construcción de presas (generalmente con un

Grúa móvil para obras y operaciones en las que no interesa una instalación fija. Brazos laterales mejoran la estabilidad.



Poclain, grúas móviles PPM

pilar fijo y otro móvil) y en las obras navales (con dos pilares fijos o bien móviles).

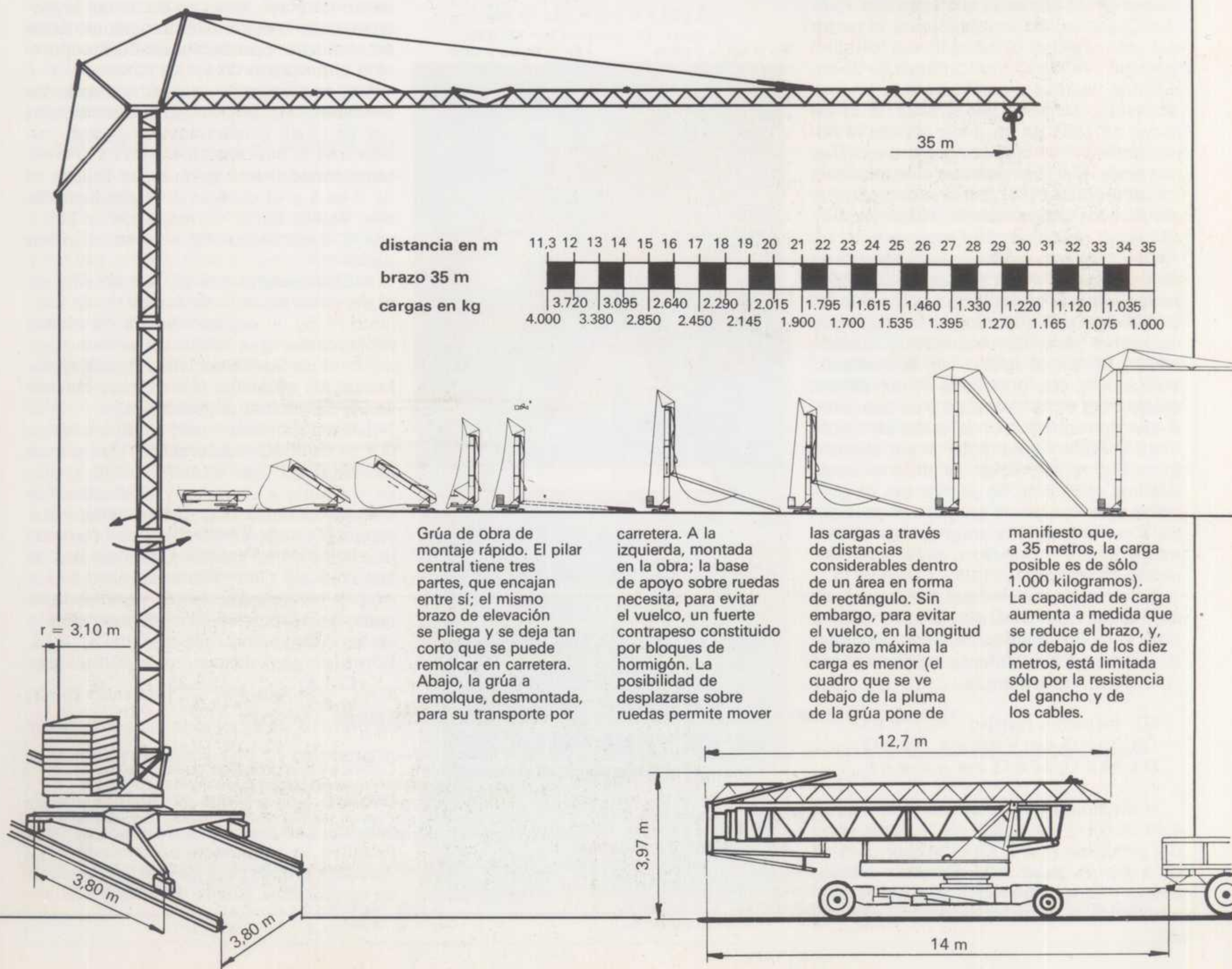
Las grúas giratorias son de numerosos tipos: grúas "de bandera" sobre pared o sobre una columna, muy usadas en los talleres mecánicos para situar sobre las máquinas utilizadas piezas pesadas; grúas torre, empleadas en la construcción de edificios; grúas giratorias de diversas características, que son utilizadas en los puertos, en las estaciones ferroviarias, en las obras navales, etc. A excepción de algunos tipos de grúas "de bandera" sobre columnas, todas las restantes grúas giratorias están dotadas de un motor que asume funciones de elevación y de traslación.

El transportador está formado fundamentalmente por un pórtico corredizo con un carro provisto de dos grúas verticales que pueden llegar casi hasta el nivel del suelo. Una plataforma o bien un par de horquillas (como en las carretillas industriales de horquillas) discurren sobre dos guías. Estas grúas son utilizadas en las operaciones de almacenamiento mediante estantes.

Véase Edificios, construcción de

Grúa rodante para desplazamiento de material en un taller metalúrgico. Una grúa de este tipo sirve para el movimiento de cargas de incluso decenas de toneladas y su desplazamiento a centenares de metros. Están altamente especializadas en cuanto que requieren no sólo mecanismos para la sujeción y la elevación de materiales a veces incluso calientes, sino sobre todo por el hecho de que exigen desplazamientos sobre pavimentaciones de gran tonelaje a través de largas distancias. Tienen motores bastante potentes, imprescindibles para su desplazamiento. En primer plano puede verse la cabina de mandos de los operadores. La masa total en movimiento es, en conjunto, de centenares de toneladas.

Construcciones mecánicas Braidasi



Grupos, anillos y cuerpos

En la actualidad se considera que las estructuras de *grupo*, de *anillo* y de *cuerpo* son las tres básicas del Álgebra. Por otra parte la de *cuerpo* es un caso particular de la de *anillo* y ésta se obtiene, de cierto modo, a partir de la de *grupo*. Por tanto cabría decir que la de *grupo* es la estructura básica de todo el Álgebra. Pero, ¿qué es un *grupo*? ¿quién y cómo lo inventó?

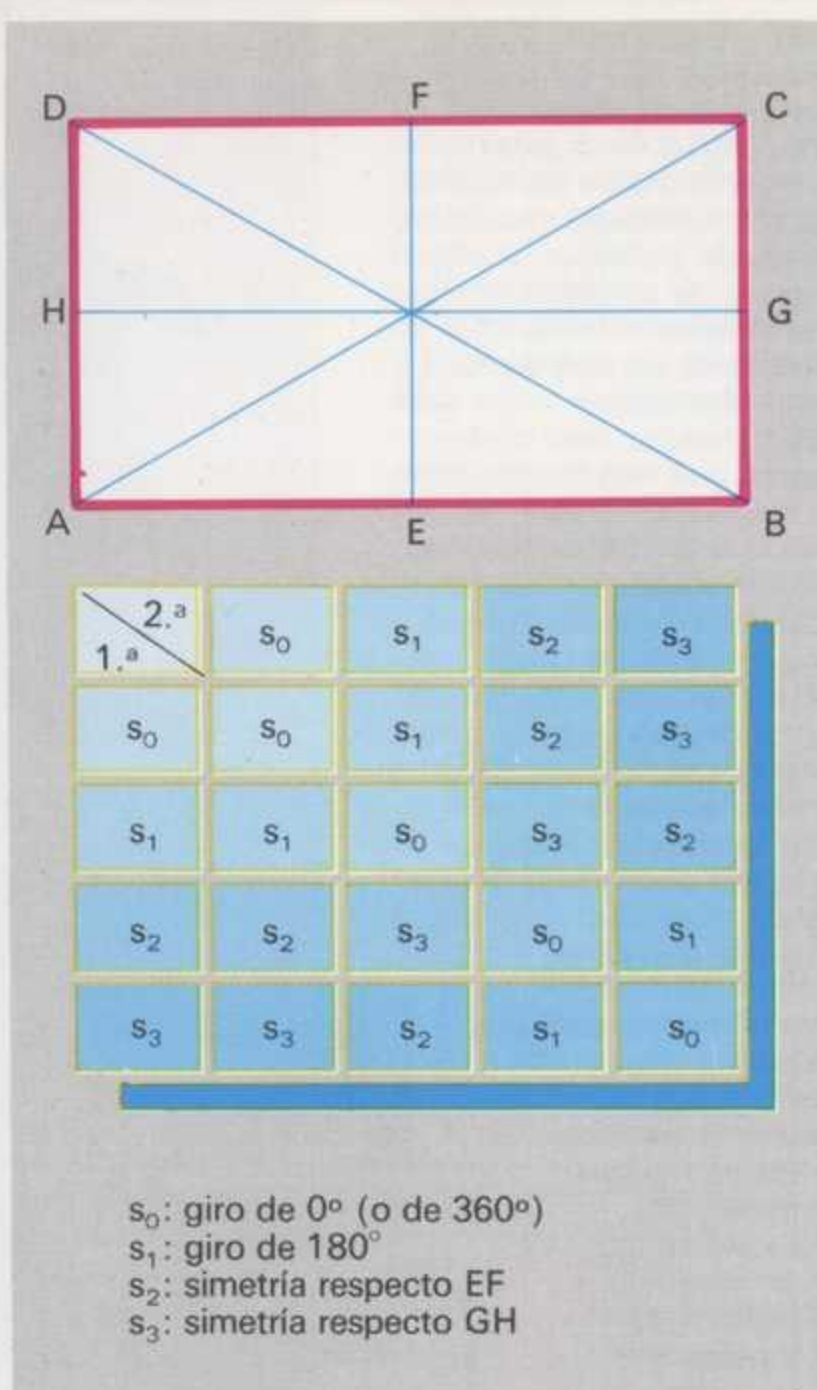
Como es sabido, el Álgebra, preludiada en Grecia e India, nacida en el Oriente musulmán e incubada en el Mediterráneo, no fue, durante mucho tiempo, otra cosa que la técnica de resolver ecuaciones de primero y segundo grado y se expresó retóricamente. Ya entrada la Edad Moderna, Viète (1540-1603) la convierte en simbólica, introduciendo signos y notaciones para operaciones y variables. Este acontecimiento permitiría el nacimiento de la Geometría Analítica y del Cálculo y haría posible el desarrollo del Álgebra como Teoría de Ecuaciones. Ya en plena Edad Contemporánea, otro francés, Galois (1811-1832), dará el paso que habrá de convertirla en una teoría general, dedicada al estudio de las operaciones, al inventar el *grupo*. Concepto que su genial creador encontró al investigar las transformaciones de las raíces de una ecuación. Aunque Galois es, indiscutiblemente, el padre del concepto y acuñador del término "groupe", en los últimos tiempos de su romántica, azarosa y cortésima vida (muere sin haber cumplido los 21 años, el 31 de mayo de 1832, en un duelo y pasa la noche anterior resumiendo sus trabajos), es evidente que un personaje antagónico, Cauchy (1789-1857), había estudiado hacia 1815 los temas básicos de los que hoy se llaman grupos de sustituciones.

Con lenguaje moderno, un *grupo*, G , es un conjunto no vacío dotado de una *operación interna* (es decir, una aplicación de $G \times G$ en G) tal que cumple la propiedad asociativa, tiene un elemento n , llamado *neutro*, tal que al operar con él cualquier otro éste queda invariante y, por último, existe para cada elemento a un *simétrico* a' que operado con él da dicho elemento *neutro*. Abreviadamente suele decirse que un *grupoide* es un conjunto no vacío con una operación; un *semigrupo*, un *grupoide* que cumple la propiedad asociativa; y un *grupo*, un *semigrupo* en el que existe *neutro* y *simétrico* para todo elemento del mismo.

De un modo más formal y técnico puede decirse que: la pareja $(G, *)$ es un *grupo* si G es un conjunto no vacío y $*$ denota una operación interna, aplicación de $G \times G$ en G , que cumple:

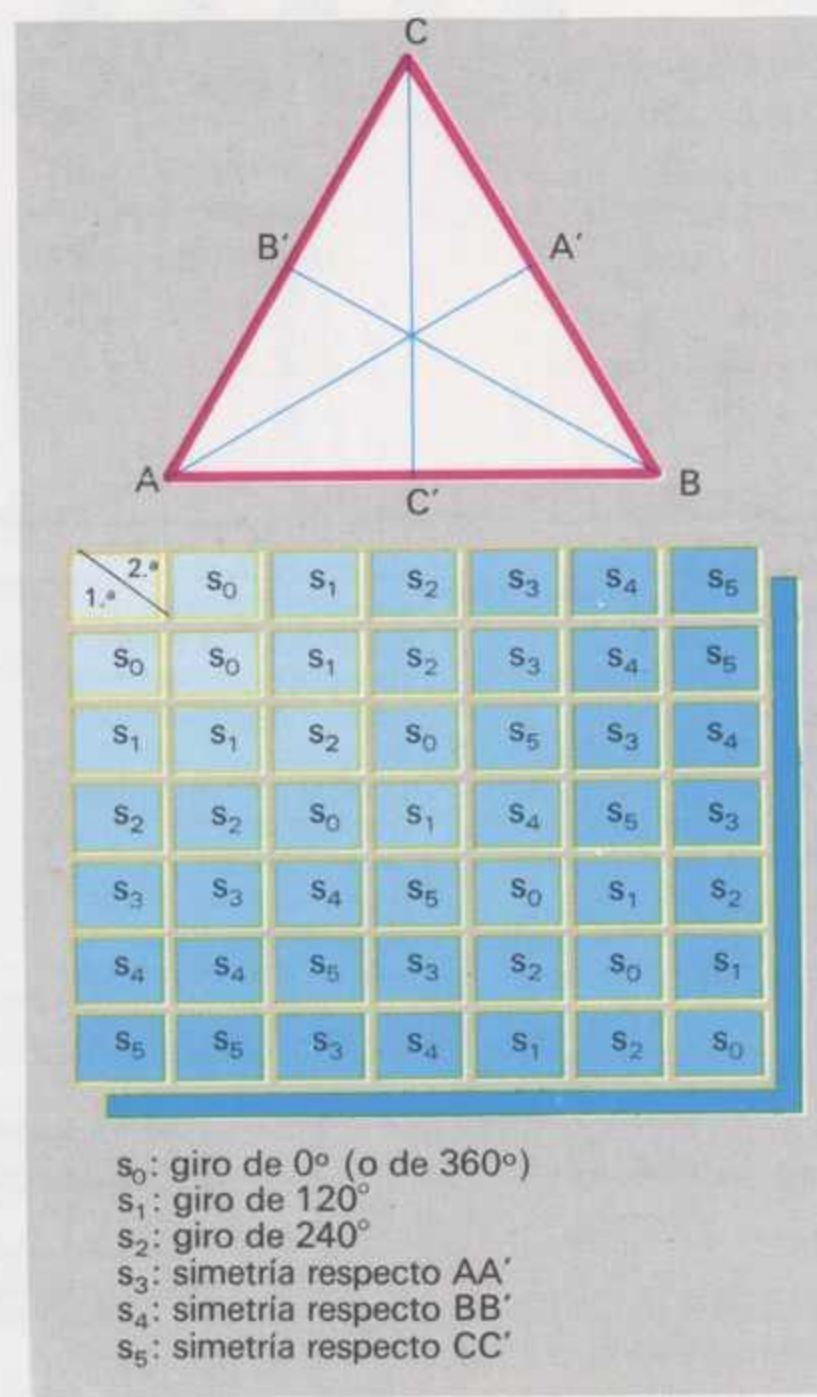
- G1. $a*(b*c) = (a*b)*c \quad \forall a, b, c \in G$
- G2. $\exists n \in G, a*n = n*a = a \quad \forall a \in G$
- G3. $\forall a \in G, \exists a' \in G, a*a' = a'*a = n$

Normalmente suele utilizarse en vez de asterisco (*) los signos de la suma (+) o del producto (\times ó \cdot). En el primer caso se dice que el grupo está denotado *aditivamente* y en el segundo *multiplicativamente*.



En la figura y tabla superiores se dan las definiciones de cuatro transformaciones del rectángulo en sí mismo y los resultados de operar entre ellas. Se forma así un grupo abeliano, llamado "del rectángulo" o "de los cuatro elementos de Klein".

En la figura y tabla inferiores se definen, análogamente, las seis transformaciones del triángulo equilátero y su estructura de grupo. El "grupo del triángulo" no es abeliano y es isomorfo del de las sustituciones del conjunto $\{A, B, C\}$.



te y, consecuentemente, el *neutro* se denomina *cero* (o *elemento nulo*) y *unidad* y el *simétrico*, *opuesto* e *inverso* (o *recíproco*) respectivamente. En tales supuestos son frecuentes las notaciones 0 (para el *cero*), y 1 (para la *unidad*), $-a$ (para el *opuesto*) y a^{-1} (para el *inverso* o *recíproco*), sin que, naturalmente, las coincidencias de nombres o notaciones permitan establecer ninguna identificación con los números o las operaciones entre ellos.

Esta última observación casi suscita de modo inmediato ejemplos particulares (los que se llaman *grupos concretos*) de la estructura abstracta de *grupo*. Véanse algunos:

1. Los conjuntos de los números enteros, racionales, reales y complejos con la suma usual: $(\mathbb{Z}, +)$, $(\mathbb{Q}, +)$, $(\mathbb{R}, +)$ y $(\mathbb{C}, +)$.

2. Los conjuntos de los números racionales y reales positivos con el producto ordinario: (\mathbb{Q}_+, \cdot) y (\mathbb{R}_+, \cdot) .

3. El conjunto de los vectores libres (segmentos con módulo, dirección y sentido) para la suma de vectores o, lo que es equivalente, las ternas $(x_1, x_2, x_3) \in \mathbb{R}^3$ para la suma "componente a componente".

4. Los conjuntos \mathbb{R}^n ó \mathbb{C}^n para la suma definida "componente a componente".

5. Las *sustituciones* (o *permutaciones*) de un conjunto finito; es decir: las biyecciones que transforman un conjunto finito en sí mismo, cuando se usa como operación el producto de aplicaciones.

Las *sustituciones* se dan indicando las *permutaciones* origen y final del conjunto; por ejemplo $s = \begin{pmatrix} 2, 1, 4, 3 \\ 1, 2, 3, 4 \end{pmatrix}$ indica que el transformado de 1 es 2, el de 2 es 1, el de 3 es 4 y el de 4 es 3. El producto de dos sustituciones corresponde a hacer una a continuación de otra en el orden dado.

6. Más general que el caso anterior es el de todos los automorfismos de un conjunto (o de un espacio dotado de ciertas propiedades que deben conservarse); es decir: el de las biyecciones que le transforman en sí mismo (en su caso conservando las citadas propiedades).

Los anteriores son sólo ejemplos sencillos (y de índole matemática) que ponen de manifiesto que el concepto de grupo es aplicable a casos muy diferentes. Por ejemplo, los hay con infinitos elementos (como \mathbb{R}) y con un número finito (las sustituciones de un conjunto de n elementos son sólo $n!$). Otra diferencia posible: los grupos en general no son conmutativos como se aprecia en el caso muy simple de las sustituciones del conjunto $\{1, 2, 3\}$. Por ejemplo, dadas las sustituciones $s_1 = \begin{pmatrix} 2, 1, 3 \\ 1, 2, 3 \end{pmatrix}$ y $s_2 = \begin{pmatrix} 1, 3, 2 \\ 1, 2, 3 \end{pmatrix}$, cuando se hace primero las s_1 y luego la s_2 se obtiene el producto $\begin{pmatrix} 3, 1, 2 \\ 1, 2, 3 \end{pmatrix}$, y cuando se hacen al revés, el $\begin{pmatrix} 2, 3, 1 \\ 1, 2, 3 \end{pmatrix}$, que evidentemente difiere del anterior. Por el contrario, es conmutativa la operación suma en \mathbb{R} ó \mathbb{C} . Aquellos grupos para los que la operación es conmutativa suelen denotarse aditiva-

mente y llamarse *abelianos* (en honor del gran matemático Abel). Axiomáticamente se dirá que $(G, +)$ es *abeliano* si cumple, además de los axiomas G1, G2 y G3 el

$$GA1 \quad a + b = b + a \quad \forall a, b \in G$$

El estudio de los grupos constituye una teoría independiente, bastante extensa, dentro del Álgebra y con múltiples aplicaciones. Por ello es imposible resumir de modo breve ni siquiera las propiedades más importantes. Aunque sí sea posible reseñar, como se hace en la tabla inferior, las más elementales, deducidas de modo inmediato de los axiomas.

En cuanto a las aplicaciones, éstas son de muy diferente naturaleza. Unas se dan en el propio campo de la matemática: álgebra, geometría, análisis, etc. Otras, en el de las ciencias físicas y naturales: cristalografía, mecánica cuántica, etc. E, incluso, las hay en las artes y las humanidades: artes plásticas, psicología, sociología, etc.

Subgrupos. Grupos isomorfos Suele suceder que junto a la consideración de un grupo interesa la de los subconjuntos del mismo que siguen teniendo la estructura de grupo. Por ejemplo, se observa que \mathbb{Q} es un subconjunto de \mathbb{R} que conserva las propiedades de éste respecto a la suma. Se dice, en casos semejantes, que S , subconjunto no vacío del grupo G , es un *subgrupo* de éste si también es *grupo* para la misma operación (naturalmente restringida a los elementos de S). Es necesario y suficiente para que S conserve las propiedades de grupo (usando notación multiplicativa) que:

- Dados a y b en S resulte que ab esté en S (lo que suele expresarse diciendo que S sea *cerrado* para la operación de G).
- El neutro de G sea elemento de S .
- Que dado a de S , su inverso en la operación, a^{-1} , esté en S .

Un teorema clásico y, por otra parte, elemental permite reunir las tres condiciones anteriores en la siguiente: "la condición necesaria y suficiente para que S sea subgrupo de G es que para cualquier par de elementos, a y b , que pertenezca a S resulte que el producto ab^{-1} también sea elemento de S ".

Evidentemente, \mathbb{Z} ó \mathbb{Q} , considerados como subconjuntos de \mathbb{R} , cumplen (con notación aditiva) el teorema anterior.

Las analogías entre unos y otros *grupos* pueden no pasar de su común estructura o bien ser más profundas. Tal es el caso si $(G_1, *)$ y (G_2, \cdot) son dos grupos y existe una función o aplicación, f , de G_1 en G_2

que conserva la estructura, o sea que cumple:

$$f(a*b) = f(a) \cdot f(b) \quad \forall a, b \in G_1$$

Se dice entonces que f es un *homomorfismo* entre grupos, o que (G_2, \cdot) es una *imagen homomorfa* de $(G_1, *)$.

Un ejemplo inmediato es el siguiente: Sea $(G_1, *)$ el grupo que forma \mathbb{Z} con la suma habitual y (G_2, \cdot) el constituido por el conjunto $\{0, 1\}$ con la "suma": $0+1=1+1=0$ y $0+0=1+0=1$ y f definida como

$$f(2n) = 0 \quad f(2n+1) = 1 \quad \text{para } n \in \mathbb{Z}$$

Cabe una mayor analogía si f no es una aplicación cualquiera sino que se trata de una biyección. Se dice entonces que f es un *isomorfismo* de grupos y que éstos son *isomorfos*. De hecho, desde un punto de vista algebraico, dos *grupos isomorfos* son absolutamente equivalentes (el *isomorfismo* de grupos es, evidentemente, una relación de equivalencia, es decir: reflexiva, simétrica y transitiva); la única diferencia es de notaciones.

Hay un ejemplo clásico de isomorfismo: el existente entre el grupo aditivo de los reales \mathbb{R} y el grupo multiplicativo de los reales positivos \mathbb{R}_+ ; en efecto:

$$\log(a \cdot b) = \log a + \log b \\ \exp(x + y) = (\exp x) \cdot (\exp y)$$



En la naturaleza se dan abundantes fenómenos representables "por grupos". La concha del "nautilus", por ejemplo, se ve que tiene forma de espiral logarítmica (es decir, de una curva cuya ecuación es $\log r = k\theta$);

existe un conjunto de semejanzas dependientes continuamente de un parámetro t (es decir $r' = tr$, $\theta' = \theta + (\log t)/k$) que transforman la espiral en sí misma y que forman (para la operación producto) un grupo continuo.

Anillos Así como el de *grupo* es, seguramente, el ejemplo más interesante de *grupoide* o *sistema matemático* construido sobre la base de una operación algebraica, el de *anillo* es el caso fundamental de *álgebra*, o estructura definida por dos operaciones algebraicas interrelacionadas. Su importancia se comprende inmediatamente si se toma nota del hecho de que no sólo son anillos los conjuntos numéricos: \mathbb{Z} (enteros), \mathbb{Q} (rationales), \mathbb{R} (reales) y \mathbb{C} (complejos), con la suma y la multiplicación habituales, sino, también, otros muchos conjuntos, como el de las matrices cuadradas de orden n cualquiera (sean sus componentes reales o complejos) para la suma y producto de matrices.

Un *anillo* es un conjunto no vacío en el que se han definido dos operaciones internas, que suelen llamarse *suma* y *producto* y, consecuentemente, denotarse una aditivamente y otra multiplicativamente, tales que respecto a la primera es un *grupo abeliano* y respecto a la segunda un *semigrupo* y que, además, ambas se relacionan por ser la segunda distributiva respecto a la primera. En términos más formales se trata de una terna $(A, +, \cdot)$ en la que A es un conjunto no vacío, $(A, +)$ cumple los axiomas G1, G2, G3 y GA1, (A, \cdot) el axioma G1 y $(A, +, \cdot)$ cumple:

$$A1 \quad a(b+c) = ab+ac \quad \forall a, b, c \in A \\ (b+c)a = ba+ca \quad \forall a, b, c \in A$$

(como es habitual se ha omitido el signo del producto).

De los axiomas es fácil deducir las propiedades elementales; en la tabla de la página siguiente se dan las más importantes.

Es inmediato observar que los conjuntos antes citados tienen todos ellos las propiedades asociativa y conmutativa, existencia de nulo y existencia de opuesto para la suma, así como la asociativa para la multiplicación y distributiva de ésta respecto a la suma. Inmediatamente pueden traerse a colación otros dos ejemplos importantísimos. Uno es el de polinomios: sea P el conjunto de todos los polinomios en la variable x (con coeficientes reales o complejos); si se suman y multiplican polinomios como se enseña en los cursos de álgebra elemental, se comprueba fácilmente que se cumplen en concreto todas las propiedades postuladas para la estructura de anillo.

El segundo ejemplo procede de la teoría de la divisibilidad y requiere un pequeño recordatorio. Si \mathbb{Z} es el conjunto de los números enteros, cabe deducir de él el conjunto denotado $\mathbb{Z}/(n)$, con $n = 2, 3, \dots$, y

ALGUNAS PROPIEDADES ELEMENTALES DEDUCIDAS DE LOS AXIOMAS DE GRUPO

- El *neutro* es único.
- El *simétrico* de un elemento dado es único.
- El *simétrico* del *simétrico* de un elemento dado coincide con él.
- Si a' y b' son los simétricos de a y b se tiene $(a * b)' = b' * a'$.
- El resultado de operar con cualquier número de elementos sólo depende del orden de éstos, pero no de la posición de los paréntesis (que pueden suprimirse).
- Los elementos de un grupo son *regulares* o, lo que es lo mismo, siempre puede simplificarse; es decir:

$$a * b = a * c \quad \text{implica} \quad b = c \\ b * a = c * a \quad \text{implica} \quad b = c$$

- En un grupo siempre existen las soluciones de las ecuaciones del tipo

$$a * x = b \quad y * a = b$$

que son, respectivamente:

$$x = a' * b \quad y = b * a'$$

NOTAS.—Si se usa notación aditiva se cambian $(*, a', \text{neutro, etc.})$ por $(+, -a, \text{cero, etc.})$; si multiplicativa por $(\cdot, a^{-1}, \text{unidad, etc.})$. Si el grupo es abeliano huelgan las alusiones y precisiones sobre el orden en las operaciones.



Felix Klein (1849-1925) es un importante matemático alemán que nació en Düsseldorf, se doctoró en Bonn (1868), estudió en París y fue profesor en diferentes centros de su país (entre ellos las universidades de Göttingen y Erlangen). Muy activo en diferentes ramas de las matemáticas puras y aplicadas y persona preocupada por los temas de la historia y pedagogía de dicha ciencia, es recordado por sus trabajos en teoría de grupos y por su sistematización, en base a la misma, de las geometrías en su *Programa de Erlangen* (1872).

Justo Barboza

designado "anillo de las clases residuales módulo n " que no es otra cosa que $\{\bar{0}, \bar{1}, \bar{2}, \dots, \overline{n-1}\}$, donde \bar{k} designa el conjunto de todos los números enteros que al dividirlos por n dan de resto k . Por ejemplo $\mathbb{Z}/(2)$ es $\{\bar{0}, \bar{1}\}$ o, más claramente {"pares", "impares"}. Utilizando el concepto de equivalencia, $\mathbb{Z}/(n)$ es el conjunto a que queda reducido \mathbb{Z} cuando se consideran equivalentes dos elementos del mismo si dan iguales restos al dividirlos por n ; en términos más técnicos se suele decir que $\mathbb{Z}/(n)$ es el "conjunto cociente" de \mathbb{Z} por la citada relación de equivalen-

cia, y que sus elementos son las clases de equivalencia (es decir los subconjuntos, disjuntos entre sí, tales que contiene, cada uno de ellos, a todos los elementos equivalentes a uno dado).

Evidentemente $\mathbb{Z}/(n)$ tiene n elementos que pueden "sumarse" y "multiplicarse" análogamente a los números enteros. Por ejemplo: sea $\mathbb{Z}/(2)$; sus tablas de sumar y multiplicar serán

+	$\bar{0}$	$\bar{1}$
$\bar{0}$	$\bar{0}$	$\bar{1}$
$\bar{1}$	$\bar{1}$	$\bar{0}$

·	$\bar{0}$	$\bar{1}$
$\bar{0}$	$\bar{0}$	$\bar{0}$
$\bar{1}$	$\bar{0}$	$\bar{1}$

(Obsérvese que traducen las propiedades triviales siguientes: "la suma de dos pares o de dos impares es par", "la suma de par e impar es impar", "el producto es par cuando lo es al menos uno de los factores e impar en caso contrario").

Los anteriores ejemplos sirven además para mostrar que la estructura de anillo es más rica, complicada y general de lo que pudiera suponer un lector apresurado que la asimilase, simplemente, a la estructura común de los clásicos anillos numéricos. Así se ve que hay anillos con infinitos elementos ($\mathbb{Z}, \mathbb{Q}, \mathbb{R}$ y \mathbb{C} por ejemplo) pero los hay también con un número finito de elementos (como el caso de $\mathbb{Z}/(n)$); por otra parte estos anillos son *conmutativos* (es decir, el producto definido en ellos lo es) pero los hay *no conmutativos*, por ejemplo, el que forman las matrices cuadradas. Hay también anillos en los que existe *elemento unidad* (es decir, neutro para el producto) y otros en los que no y, lo más curioso, hay anillos en los que no se cumple una propiedad que es fundamental en $\mathbb{Z}, \mathbb{Q}, \mathbb{R}$ ó \mathbb{C} : la de que dos elementos no nulos tienen producto distinto de cero; ya que puede darse la circunstancia, contraria, como se ve en el siguiente par de ejemplos.

El primero, relativo a dos matrices no nulas cuyo producto lo es

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

El segundo al producto en $\mathbb{Z}/(6)$ de dos clases no nulas

$$\bar{2} \cdot \bar{3} = \bar{0}$$

Para entender este último ejemplo basta recordar que $\bar{2}$ representa los enteros de la forma $6k+2$, y $\bar{3}$, a los que cumplen $6h+3$ (con k y h enteros); y

$$(6k+2) \cdot (6h+3) = 36kh + 6(2h+3k) + 6$$

es evidentemente múltiplo de 6 y, por tanto, sea cuales fueren h y k , miembro de la clase $\bar{0}$.

A los elementos de un anillo que, sin ser nulos, tienen como producto cero se les llama *divisores de cero*.

ALGUNAS PROPIEDADES ELEMENTALES DEDUCIDAS DE LOS AXIOMAS DE ANILLO

Las de grupo aditivo abeliano

1. El elemento 0 es único.
2. Dado a sólo existe un *opuesto* $-a$.
3. Se cumple que: $-(-a) = a$.
4. Se cumple que: $-(a+b) = (-a) + (-b)$ (que, normalmente, se escribe $-a-b$).
5. El resultado de sumar cualquier número de elementos es independiente del orden de éstos y de la posición de los paréntesis (que pueden suprimirse).
6. Siempre puede simplificarse en la suma; es decir:
 $a+b = a+c$ implica $b=c$
7. La solución de la ecuación $a+x = b$ existe siempre y es $x = b + (-a)$, que suele escribirse simplemente $x = b - a$ y denominarse "diferencia de b menos a ".

Las de subgrupo multiplicativo

8. El producto de cualquier número de factores sólo depende de su orden, pero no de la posición de los paréntesis (que pueden suprimirse).

Las propias de anillo

9. Se cumple para cualquier a que $0a = a0 = 0$.
10. Para cualesquiera elementos a y b se tiene:
 $(-a)b = a(-b) = -(ab)$
11. Se cumple, con a y b cualesquiera, que:
 $(-a)(-b) = ab$
12. También es distributivo el producto respecto a la diferencia; es decir:
 $a(b-c) = ab - ac$
 $(b-c)a = ba - ca$

NOTA.—Si el anillo es conmutativo huelgan las alusiones y precisiones sobre el orden en los productos.

Cuerpos Los anillos conmutativos que no tienen divisores de cero se denominan *anillos de integridad*; si además tienen elemento unidad se suelen llamar *dominios de integridad*. (Conviene observar que hay autores que usan indistintamente ambas denominaciones sin imponer la condición de existencia de unidad). Ejemplos de *dominios de integridad* se tienen en los anillos ya citados, \mathbb{Z} , \mathbb{Q} , \mathbb{R} , \mathbb{C} , y también en $\mathbb{Z}/(p)$, cuando p es un número primo.

Una estructura más restringida es la de *cuerpo* o *campo*. Un *cuerpo* es un anillo conmutativo con elemento unidad tal que todo elemento no nulo del mismo tiene inverso para el producto. En otros términos: un *cuerpo* es un anillo en el que los elementos diferentes del cero forman un grupo abeliano para el producto.

(Hay autores que no imponen la condición de que el producto sea conmutativo y distinguen entonces entre *cuerpos conmutativos* y *no conmutativos*).

Los *cuerpos* son forzosamente *dominios de integridad* ya que no pueden existir en ellos divisiones de cero; en efecto: supóngase que lo fueran x e y , es decir $xy=0$, sin ser nulo ninguno de ellos, entonces existiría x^{-1} tal que

$$x^{-1}xy = 1y = y = 0$$

lo que contradice la hipótesis.

Por otra parte es inmediato encontrar ejemplos de *cuerpos*: precisamente los de números \mathbb{Z} , \mathbb{Q} , \mathbb{R} ó \mathbb{C} y los del tipo $\mathbb{Z}/(p)$ con p primo.

En los *cuerpos*, a diferencia de los anillos, siempre existe el cociente de b por a (distinto éste de cero); es el elemento que multiplicado por a da b , o también la solución de la ecuación $ax=b$ que, obviamente, es $x=a^{-1}b=ba^{-1}$ y suele denotarse como $x=ba^{-1}=b/a$.

Subanillos, subcuerpos e ideales Si A es un anillo y S uno de sus subconjuntos no vacíos que conserva la estructura de subanillo, se dice que S es un *subanillo*. Es fácil ver que todas las condiciones para que S cumpla tal propiedad (que si a y b pertenecen a S también pertenezcan $a+b$ y ab y, además, estén en S el nulo y los correspondientes opuestos) pueden resumirse en un teorema sencillo: "para que S sea un *subanillo* es necesario y suficiente que dados dos elementos cualesquiera, a y b , de S se cumpla que $a-b$ y ab también sean elementos de S ".

Los anillos tienen un tipo de subconjuntos sumamente interesantes: los *ideales*. Como se ha visto, si S es un subconjunto de A se cumple que:

$$a, b \in S \text{ implica } a-b \in S, ab \in S$$

Pues bien, si I es un *ideal bilateral* cumple la propiedad más fuerte:

$$a, b \in I, c \in A \text{ implican } a-b \in I, ac \in I, ca \in I$$

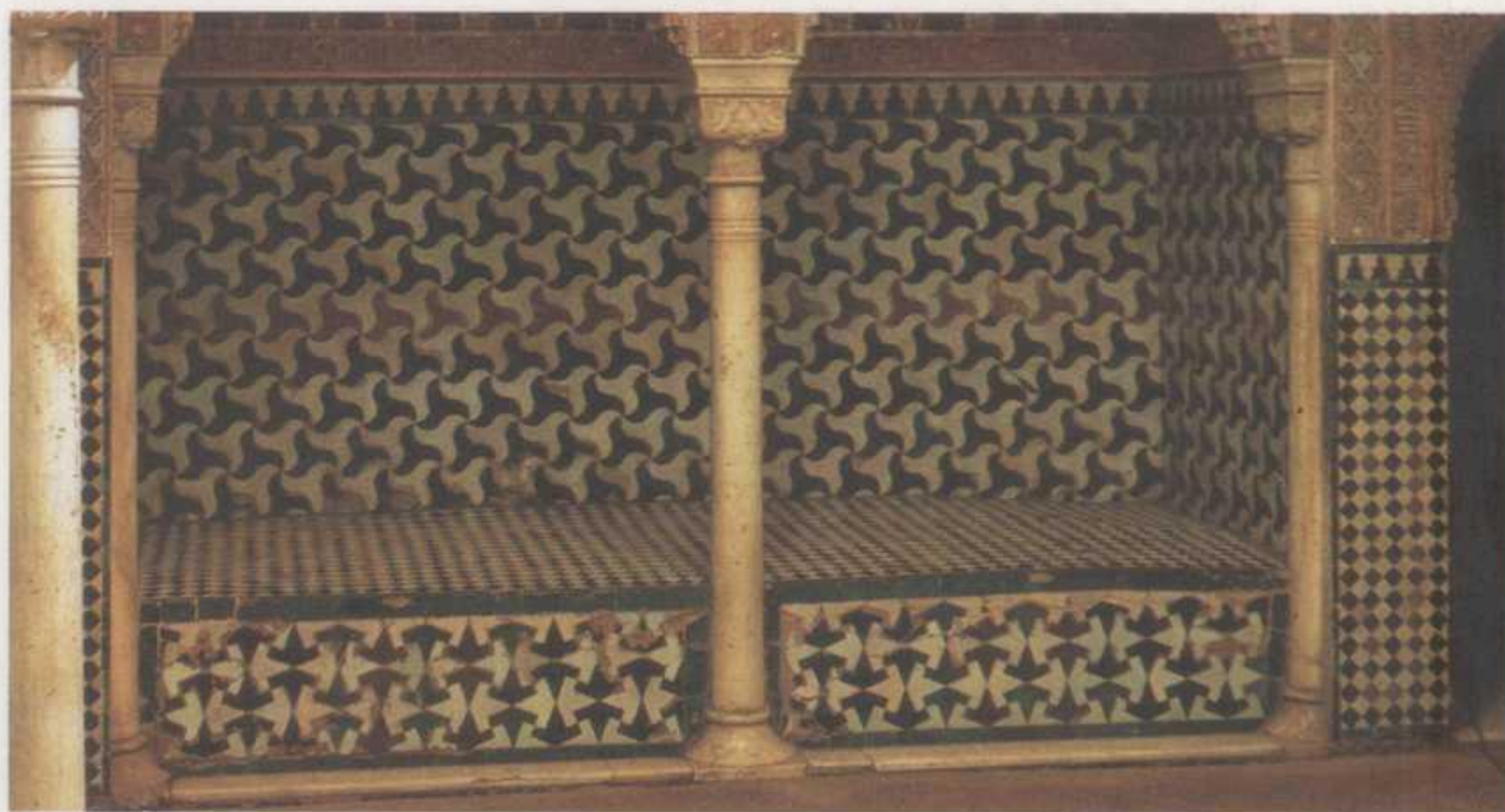
(si sólo se cumpliera que $ac \in I$ se diría que el *ideal* era "por la derecha", y si fuera sólo $ca \in I$, "por la izquierda").

En el caso de los *cuerpos* pueden establecerse conceptos análogos. En particular la condición de que S sea un subcuerpo toma entonces la siguiente forma: "la condición necesaria y suficiente para que S sea un subcuerpo de C es que si a y b son elementos de S también lo sean $a-b$ y ab^{-1} (si b es no nulo)".

La analogía evidente entre *dominios de integridad* y *cuerpos* en general y los conjuntos numéricos \mathbb{Z} , \mathbb{Q} , \mathbb{R} ó \mathbb{C} queda confirmada por los resultados teóricos. En efecto; todo *dominio de integridad* tiene un subanillo isomorfo a \mathbb{Z} o a $\mathbb{Z}/(p)$, con p primo, y todo *cuerpo* tiene un subcuerpo isomorfo a \mathbb{Q} . Ello quiere decir que, salvo isomorfismos, los *dominios de integridad* son las extensiones posibles de \mathbb{Z} o de $\mathbb{Z}/(p)$ y los *cuerpos* las extensiones de \mathbb{Q} o de $\mathbb{Z}/(p)$. Naturalmente se llama *extensión de un anillo* (o un *cuerpo*) dado a un conjunto con estructura de anillo (o *cuerpo*) y tal que el primitivo es uno de sus subanillos (o de sus subcuerpos). Por otra parte, análogamente al caso de los grupos (o, en general, de cualquier estructura) se dice que dos anillos (en particular dos *cuerpos*) son *isomorfos* si existe una biyección entre ellos que conserva la estructura; si existe una función de uno en otro que no es biyección pero sí conser-

trices, de transformaciones geométricas, de sustituciones, etc.), que la tienen de grupo, anillo o *cuerpo*, dan lugar, también, a la formación de otras estructuras más complicadas, que sirven para el análisis de sistemas más complejos. Por ejemplo, las estructuras fundamentales dan origen, combinándolas entre sí e introduciendo nuevos axiomas, a otras como *módulos*, *espacios vectoriales* o *álgebras lineales*. Por otra parte, introduciendo en un conjunto que tiene estructura de grupo, anillo o *cuerpo* una relación de orden e imponiendo axiomas que compatibilicen ambas se consiguen grupos, anillos o *cuerpos* ordenados. Por ejemplo, \mathbb{Z} es un anillo ordenado y \mathbb{Q} y \mathbb{R} *cuerpos* ordenados; es decir, anillos o *cuerpos* en los que existe, como conjuntos, un orden total (es decir: una relación de orden tal que los elementos de cualquier par resultan comparables) y éste es compatible con la suma, es decir, que para cualesquiera a y b , $a \leq b$ implica que $a+c \leq b+c$, con c arbitrario.

Por otra parte, al combinar estructuras algebraicas y topológicas se obtienen algunos de los conjuntos de mayor interés en Análisis. El mecanismo suele ser dar, por un lado, al conjunto E estructura de espacio topológico y por otra una algebrai-



De antiguo, el arte ha usado, en frisos, mosaicos, etc., la repetición (por traslaciones, giros y simetrías) de un mismo motivo decorativo. Modernamente se ha

visto que ello no es otra cosa que la construcción de grupos de transformaciones del plano. Es más, el matemático y cristalógrafo ruso

Fedorov ha probado que sólo hay 17 distintos, los mismos descubiertos prácticamente por los artistas. En la figura, azulejos de la Sala de las Camas

en la Alhambra, mostrando la sutil técnica de combinar transformaciones con cambios de color (reduciendo así las simetrías y aumentando la sofisticación estética).

va la estructura se habla de *homomorfismo*.

Estructuras derivadas A las de grupo, anillo y *cuerpo* se les llama frecuentemente estructuras algebraicas fundamentales por el papel que cumplen en muchos capítulos de la Matemática y, también, de sus aplicaciones. Aparte de permitir estudiar de un modo formalizado, independiente, abstracto y general la estructura algebraica de numerosos casos concretos (conjuntos de números, de polinomios, de ma-

ca; a continuación se impone un axioma de compatibilidad, que suele adoptar la forma de exigir que las aplicaciones que definen las operaciones algebraicas sean continuas. Así se obtienen, por ejemplo, los llamados *grupos continuos* o los *espacios vectoriales topológicos*.

Véase **Álgebra; Aritmética; Conjuntos, teoría de; Ecuaciones e identidades; Espacios vectoriales y afines; Estructura matemática; Matrices; Método axiomático; Números; Relación de equivalencia**

Grutas y cavernas

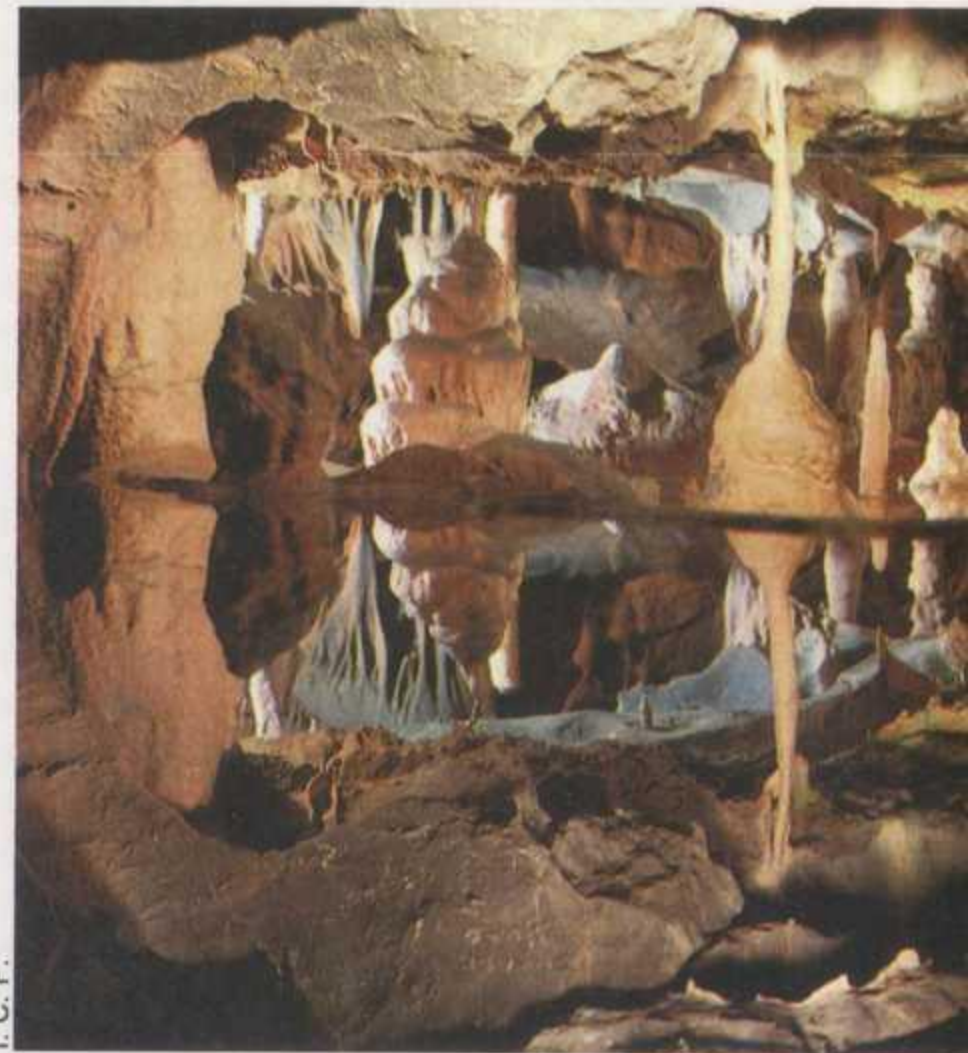
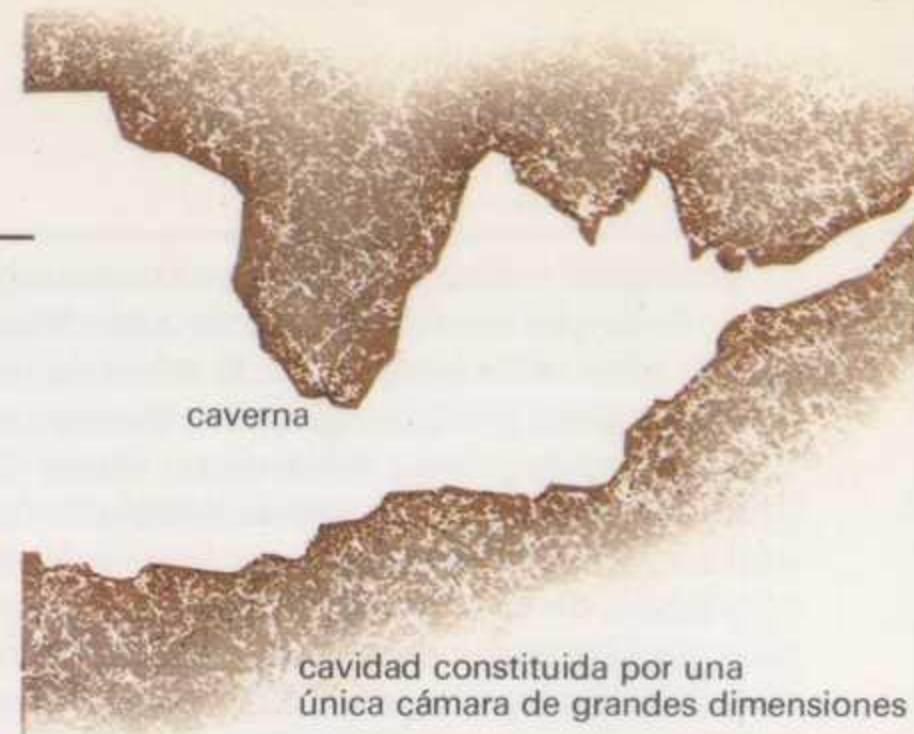
Las grutas y las cavernas constituyen un mundo subterráneo muy peculiar. Se pueden encontrar en cualquier continente, en islas de cierto tamaño e incluso en el mar. La Espeleología es la ciencia que estudia los ambientes hipogeos (subterráneos) y a ella se han añadido muchas otras ramas del saber. La exploración de las grutas y de las cavernas la llevan a cabo los espeleólogos, cuya actividad implica una buena combinación de conocimientos científicos y una sólida preparación física.

Tormentas y erupciones La Espeleología es una ciencia relativamente nueva. Hasta el siglo XVIII las grutas estaban consideradas como lugares mágicos y misteriosos y pocos eran los que se aventuraban en sus profundidades. Era universal la creencia de que habían sido originadas por tormentas o por erupciones volcánicas. Pero la curiosidad terminó superando al miedo y algunos estudiosos empezaron a explorar las grutas con la esperanza de encontrar restos históricos. Con el descubrimiento de los restos fósiles del hombre primitivo y de animales de períodos glaciales, las exploraciones de cavernas se generalizaron y se elaboraron teorías tanto sobre su origen como sobre su papel en la historia de la Humanidad.

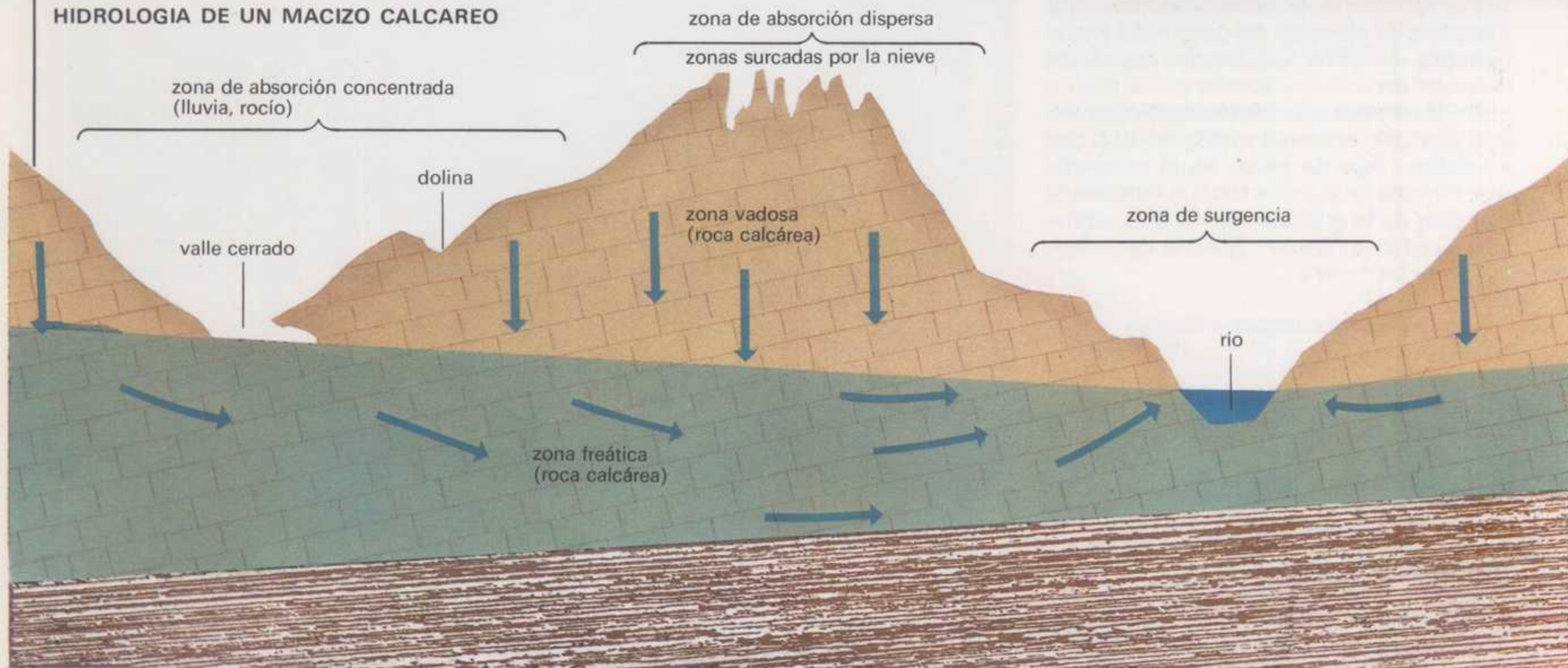
Existen dos tipos principales de grutas, que deben su origen a fenómenos geológicos completamente diferentes.

Las *grutas primarias* se relacionan con la actividad eruptiva volcánica. Es relativamente frecuente que el interior de grandes coladas de lava fluida se convierta en un verdadero túnel al enfriarse las paredes de la misma. La lava sigue circulando por su interior a manera de torrente magmático, dejando finalmente el conducto vacío. Son los llamados *tubos volcánicos*. Generalmente el tubo termina con una estrangulación que une el lecho con la bóveda. Asimismo, la presión hidrostática ejercida en el interior del tubo por el magma y los gases liberados por el mismo provoca el hinchamiento del techo y la aparición de salideros locales de lava o incluso el colapso del conducto. El resultado final, una vez concluido el flujo de lava, es una sucesión de cámaras y túneles de aspecto fantasmagórico. En la isla de Lanzarote, en el archipiélago canario, existe un tubo de lava llamado Cueva de los Verdes, con una longitud de más de 6 km y que termina inundada por el agua marina en su parte final, lo que da lugar a un espectacular lago subterráneo.

Las *grutas secundarias*, que por lo común se encuentran en terrenos calcáreos o areniscosos, han sido originadas por ac-



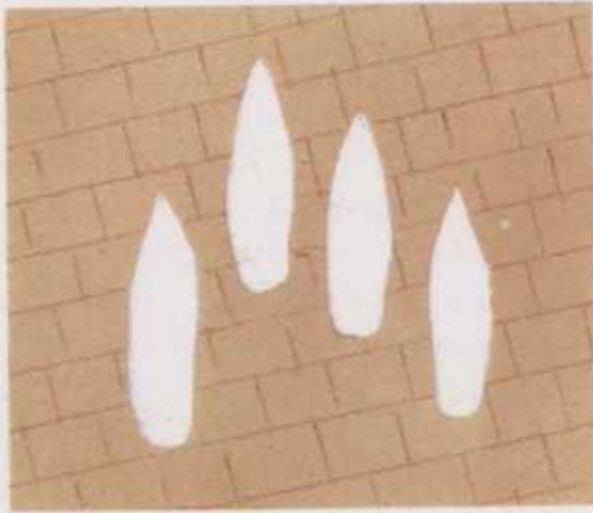
HIDROLOGIA DE UN MACIZO CALCAREO



cavidades lenticulares originadas por el agua a lo largo de diaclasas subverticales en profundidad



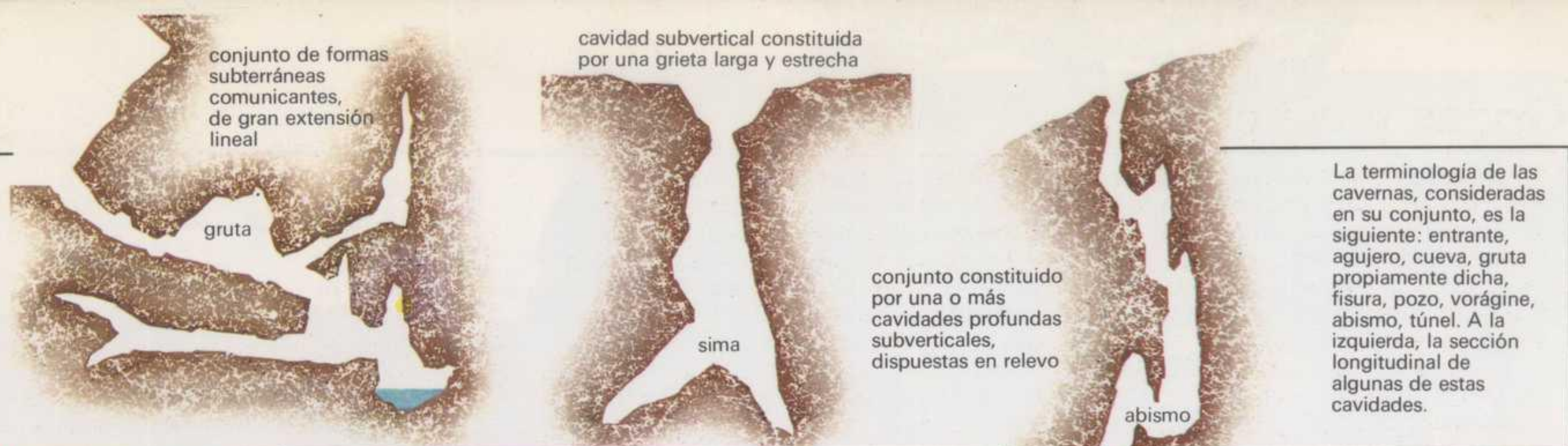
ensanchamiento de las cavidades y levantamiento del techo con acumulación de detritus en el fondo



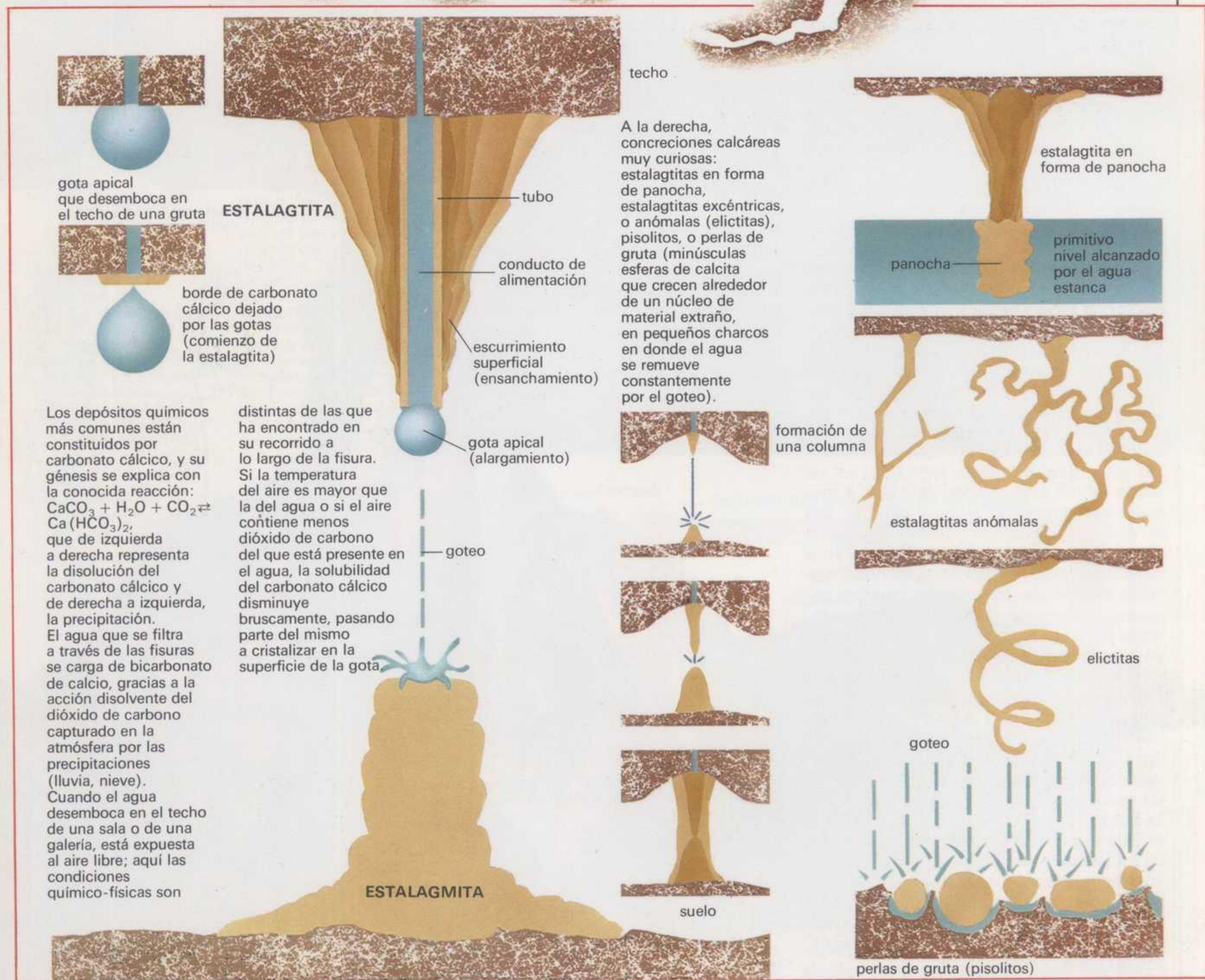
las cavidades se intersectan si están próximas, o se cortan entre sí, dando lugar a formas complejas



Arriba, foto de una gruta de Cheddar, excavada en las calizas carboníferas, en la región inglesa del Somersetshire. Un paisaje cárstico, del tipo en que se ha formado la gruta arriba ilustrada, puede ser esquematizado como se observa en el centro. A la izquierda, teoría de Maucci sobre la espeleogénesis, llamada también de la *erosión inversa*.



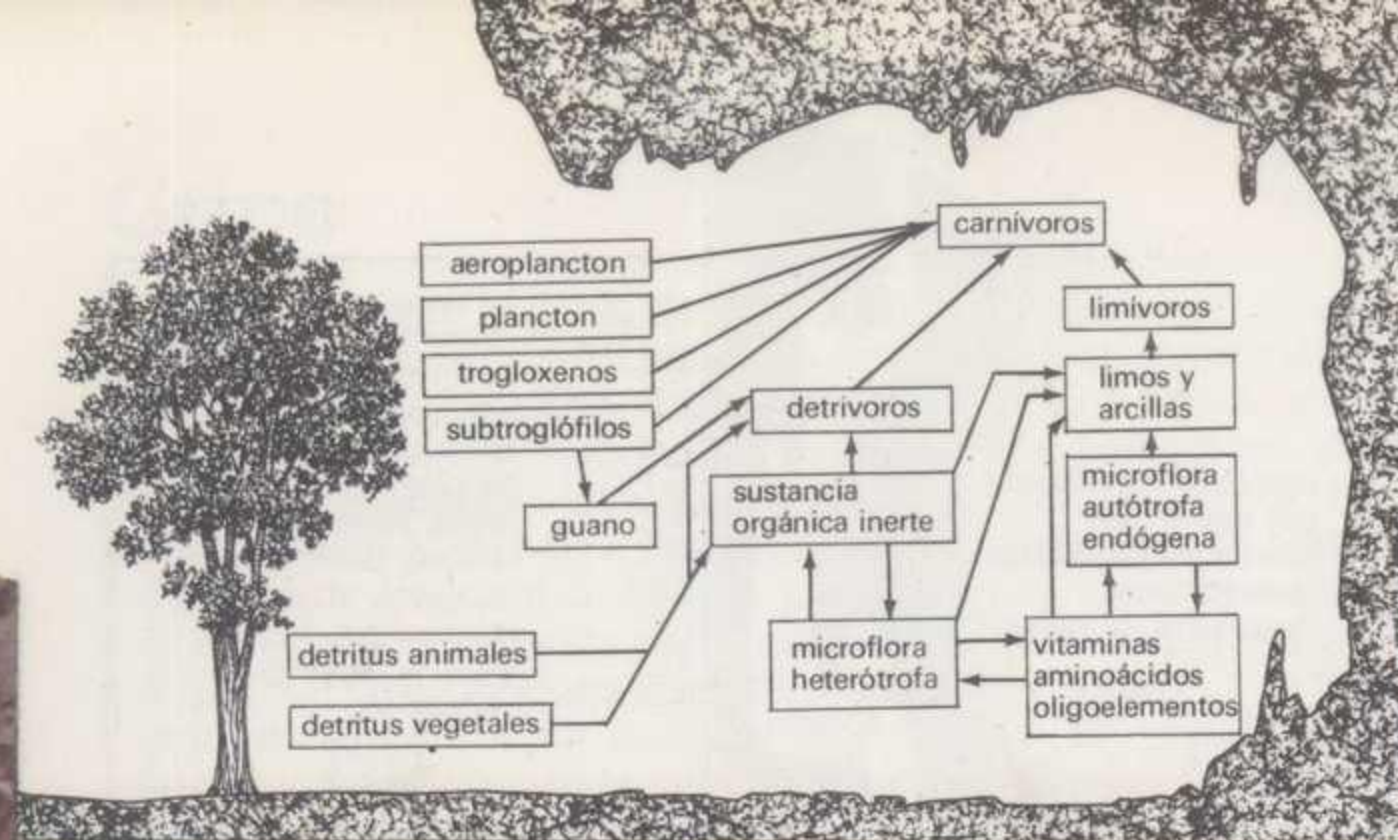
La terminología de las cavernas, consideradas en su conjunto, es la siguiente: entrante, agujero, cueva, gruta propiamente dicha, fisura, pozo, vorágine, abismo, túnel. A la izquierda, la sección longitudinal de algunas de estas cavidades.



ciones mecánicas, como la erosión, o por la actividad química. Generalmente, los procesos mecánicos aprovechan la existencia de fisuras (diaclasas, fracturas) formadas con anterioridad en las rocas por la acción de los procesos de la corteza terrestre, tales como plegamientos, fallas o hundimientos de una formación rocosa local. Las aguas superficiales se introducen fácilmente por esas fisuras de la roca. Si el agua se hiela, la enorme presión generada por el aumento del volumen que acompaña a la congelación ensancha la fisura, alargándola hacia abajo hasta profun-

didades, a veces, de algunos centenares de metros. Las paredes de estas fisuras forman ocasionalmente salientes que se convierten en techos de enormes cuevas muy por debajo de la superficie. En el Pinnacles National Monument, en California (EE UU), hay grutas de este tipo. Las corrientes subterráneas pueden volver a trabajar ulteriormente estas grutas. Asimismo, los ríos y los torrentes pueden esculpir grutas en sus propios lechos, como en el caso de la Redwall Cavern, en el Marble George del río Colorado. Las grutas que se han formado por procesos quími-

cos se encuentran en su mayoría en áreas de rocas calcáreas, que se depositan a partir de antiguos mares. La caliza, formada principalmente por carbonato cálcico (que no es soluble), se puede transformar, a causa del dióxido de carbono contenido en el agua de infiltración, en bicarbonato cálcico, que sí es soluble. Por el contrario, allí donde el agua se evapora o se calienta, este compuesto soluble precipita formando las más variadas formas naturales que tapizan las paredes y suelos de las cavernas. Grutas como la Mammoth Cave (Kentucky, EE UU), las de Carlsbad



percolación
(formación de estalagmitas
y estalagmitas)

torrente subterráneo

(Nuevo Méjico, EE UU), las cuevas de Nerja (Málaga, España), las cuevas del Drach (Mallorca, España), etc. se formaron de esta manera. El proceso cárstico es muy simple: el agua superficial se filtra a través de zonas de fractura en la caliza, agrandándolas y disolviendo sus paredes. El agua que se colecta en profundidad ensancha las fisuras en sentido horizontal, por disolución, de forma que se generan cámaras y conductos laterales. Por último, el agua circula para emerger en superficie a un nivel más bajo, formando así un curso fluvial subterráneo, que une a menudo sucesiones de lagos y galerías. Las bóvedas de las grutas pueden finalmente derrumbarse y este hecho contribuye a ensanchar posteriormente la cavidad; durante esta etapa del proceso cárstico comienzan a formarse las *estalagmitas*, modeladas por el goteo del agua superficial. Las estalagmitas, "carámbanos" de roca que penden del techo de las cuevas, se forman en el transcurso de centenares e incluso miles de años, por la precipitación del carbonato cálcico disuelto en el agua durante su goteo, originando concreciones calcáreas de forma alargada. Cuando las gotas de agua caen al suelo de la gruta, forman una columna llamada *estalagmita*. Puede suceder que la estalagmita que se ha formado termine encontrándose en su crecimiento hacia arriba con la estalagmita que pende del techo, creando una única columna que se ensancha progresivamente en un período de varios centenares de años.

Yeso y sal gema El ácido sulfúrico disuelto en las aguas superficiales permite la formación de grutas en la anhidrita, un mineral que se deposita por lo general en lagos salinos y cuencas marinas poco profundas. La anhidrita (sulfato de calcio anhidro) reacciona con el ácido sulfúrico para formar yeso, que es incluso más soluble que la caliza; por ello las grutas de yeso se forman más rápidamente que las de caliza.

La sal gema (o cloruro de sodio, NaCl) se encuentra en ocasiones en forma de extensos depósitos subterráneos y, dado

Arriba, esquema de la cadena trófica en el ecosistema cavernícola. La fuente de alimentación, como se puede ver, procede sobre todo del exterior. De entre las categorías de animales que viven en las cuevas, la de los *troglóxenos* y la de los verdaderos *subtroglófilos*, son, de hecho, alimento de los demás habitantes.

cascada

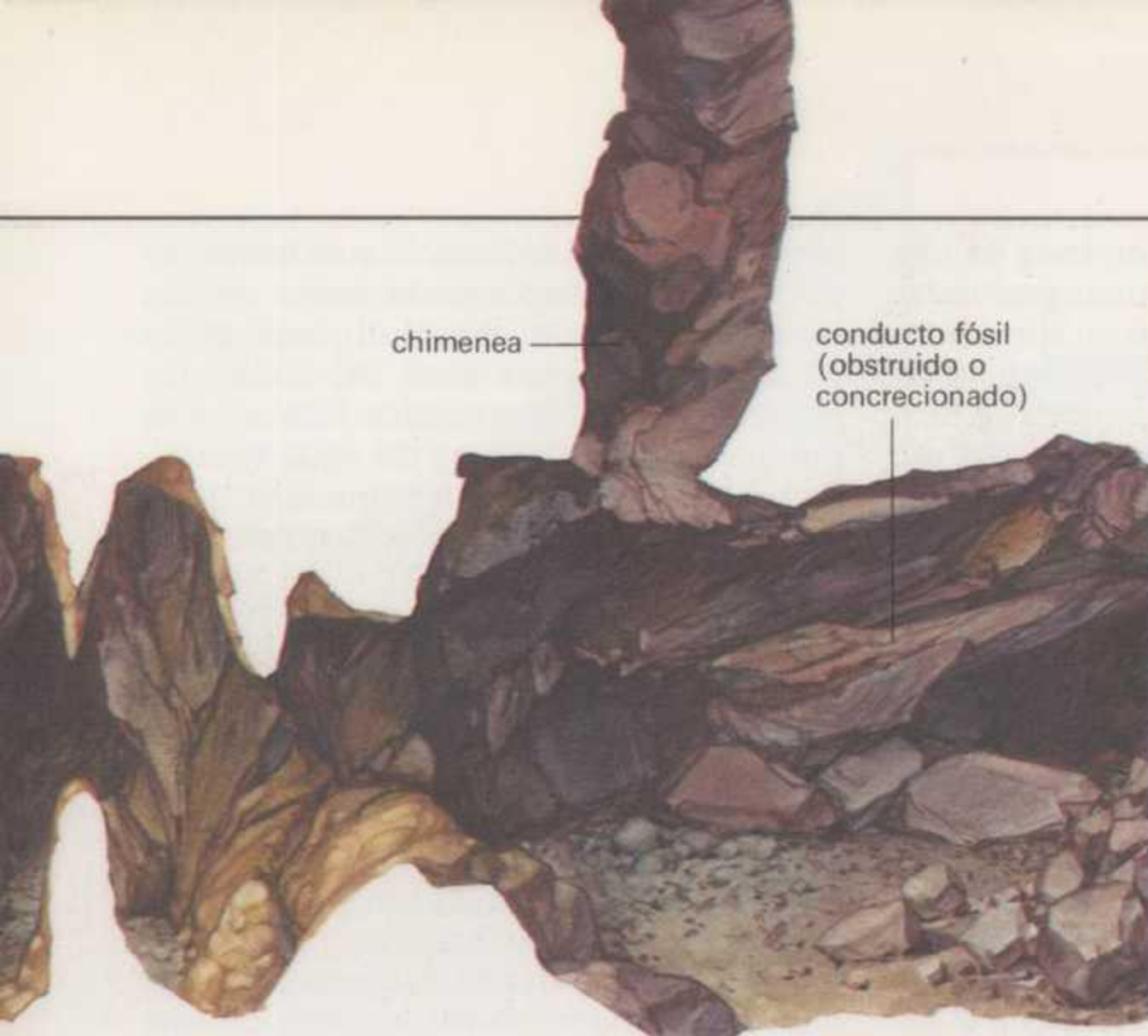
concreciones de escurrimiento

bloques rocosos de derrumbe o "clásticos"

aseguramiento a espalda con "autoseguro"

LAS GRUTAS MAS PROFUNDAS DEL MUNDO

Reseau Jean-Bernard, <i>M. du Folly, Samoëns, Alta Savoia</i> (Francia)	-1.358 m
Sistema de la Piedra de San Martín, <i>Navarra-Pirineos Atl.</i> (España-Francia)	1.332 m (-1.007 - 325)
Avenc B-15, <i>Macizo de Escuin, Huesca</i> (España)	-1.150 m
Gouffre Berger, <i>Vercors, Eugins, Isère</i> (Francia)	-1.148 m
Schneeloch o Kuchlbörginschacht, <i>Tennengebirge, Scheffau, Salzburg</i> (Austria)	1.111 m (-979 - 132)
Sima G.E.S.M. u Hoyos del Pilar, <i>Sierra de las Nieves, Málaga</i> (España)	-1.098 m
Kievskaja o Kilsí, <i>Pamir-Altaí, Gissarsko-Alajskaja Uzb.</i> (URSS)	-1.080 m
Lampreschtsofen, <i>Leoganger Seiberg, Salzburg</i> (Austria)	1.024 m (-1.014 - 10)
Reseau Felix Trombe-Henne Morte, <i>M. d'Arbas, Herran, Haute-Garonne</i> (Francia)	-1.018 m



Marka



Arriba, a la derecha, la gruta más larga del mundo, la Mammoth Cave, que junto con la Flint Ridge System se extiende a lo largo de más de 350 km. Es un gigantesco laberinto excavado por las aguas subterráneas que van a desembocar al Green River. El complejo se articula en cinco niveles superpuestos y es un alternarse de pasillos secos y galerías sinuosas recorridas por ríos, con vastas salas llenas de concreciones.

LAS GRUTAS MAS EXTENSAS DEL MUNDO

Flint-Mammoth Cave System, Edmonton Co.-Barren Co., Kentucky (EE UU)	354.236 m
Optimisticeskaja, Podolio, Dnestrovsko-Pricernomorskaja, Ukr. (URSS)	143.000 m
Hölloch, Muotathal (Suiza)	136.000 m
Ozernaja, Podolia, Dnestrovsko-Pricernomorskaja, Ukr. (URSS)	104.000 m
Jewel Cave, Black Hills, Custer Co., South Dakota (EE UU)	100.000 m
Ojo Guareña, Burgos (España)	60.000 m
Greenbrier Caverns, Greenbrier Co., West Virginia (EE UU)	57.300 m
Atea Kanada, Muller range, Southern Highlands (Nueva Guinea)	51.000 m
Reseau Felix Trombe-Henne Morte, M. d'Arbas, Herran, Haute-Garonne (Francia)	51.000 m
Wind Cave, Black Hills, Custer Co., South Dakota (EE UU)	46.200 m

técnicas de descenso:

- cuerda doble con descensor tipo "Petzi"
- cuerda doble sistema "Comici" (con mosquetón)
- cuerda doble sistema "Piaz" (cuerda bajo el muslo)

El ciclo cárstico de una roca está constituido por la sucesión de tres fases: la "juvenil", la de "madurez" y por último la fase "senil". El dibujo que ocupa las dos páginas muestra un tramo de gruta en fase de madurez, en donde el ensanchamiento de los conductos por la acción erosiva y disolvente del agua procede al mismo ritmo que la colmatación, por acumulación de material clástico de derrumbe, o por guijarros y residuos arcillosos y arenosos

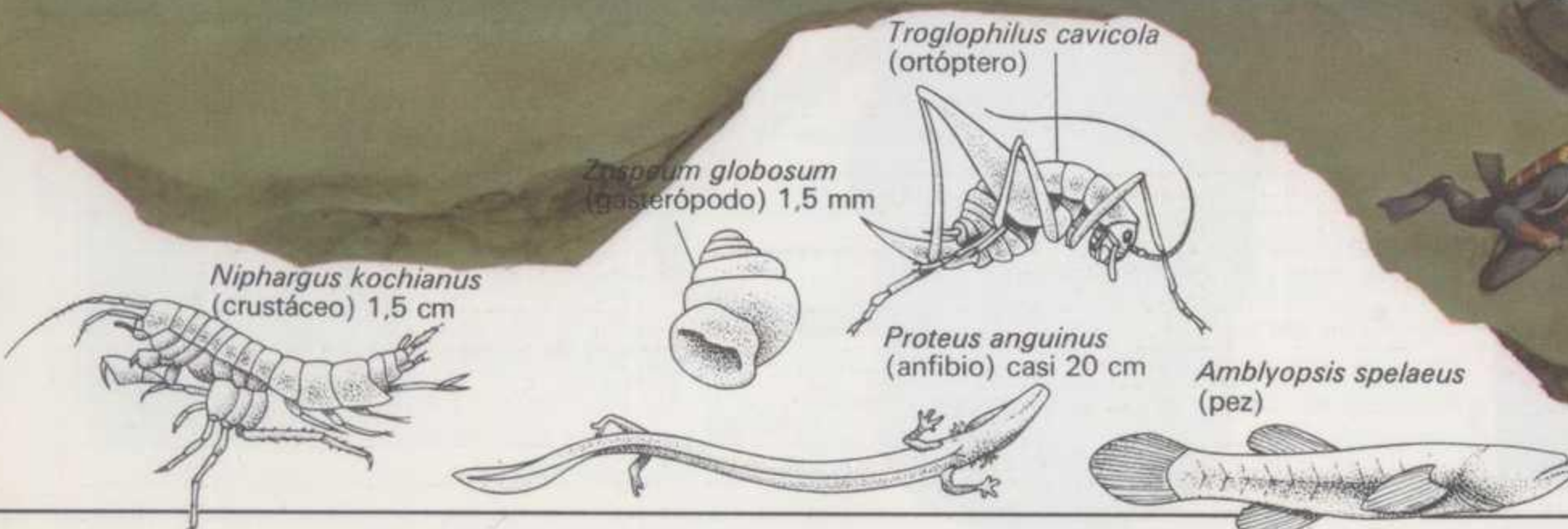
abandonados por las crecidas ("fenómenos de relleno"). En la ilustración, dos espeleólogos realizan maniobras para el descenso (el que está arriba está realizando el "aseguramiento a espalda" con la utilización de cuerda dinámica y de "autoseguro"). Un tercer explorador (aquí debajo) está buceando en un sifón inundado. En el detalle, técnicas de descenso con el empleo de una sola cuerda. Abajo, ejemplares de fauna cavernícola.



lago

sifón

buceador explorando un sifón



que se disuelve rápidamente, forma enormes cavernas. Muchas de éstas, descubiertas en los Alpes austriacos, fueron utilizadas al final de la II Guerra Mundial por los alemanes para esconder oro y objetos preciosos, ante la inminente llegada de los aliados.

El paisaje superficial que se desarrolla sobre un sistema de cavernas se denomina *cárstico*, adjetivo que deriva del nombre del Carso o Karst, región entre la Venecia Giulia y la Yugoslavia noroccidental. El paisaje cárstico tiene ciertas características típicas e inconfundibles: es accidentado y discontinuo, con abundantes y peligrosas simas.

Muchas cavernas de disolución forman parte de sistemas de drenaje que se inician en determinadas zonas de absorción en superficie y terminan a muchos kilómetros, en un río, un lago o incluso en el mar.

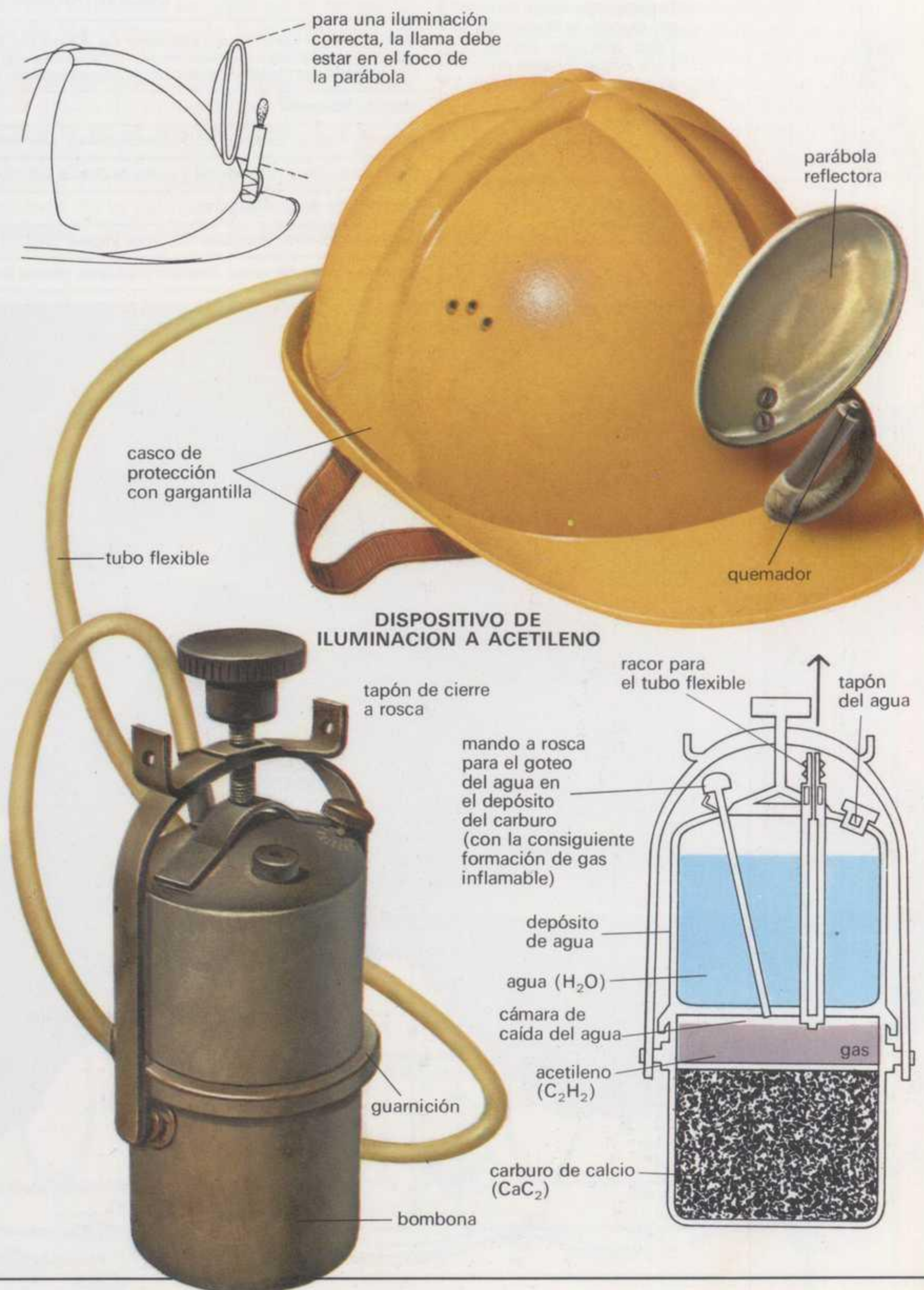
Allí donde la roca subterránea es una arenisca, el agua puede formar profundas gargantas al igual que hace en superficie. En las regiones más frías, la superficie de estas cavernas se puede recubrir de una capa de hielo transparente a través del cual es visible la delicada estratificación de este tipo de rocas. En el transcurso de los procesos de levantamiento de la corteza terrestre, todo un sistema de cavernas puede ser elevado y quedar sometido así a la acción de los agentes erosivos superficiales. La acción profundizante de un río puede conducir a que el sistema de cavernas quede colgado y expuesto en las paredes de un cañón. Esto es lo que ha sucedido en la región del Gran Cañón (EE UU), que ilustra la evolución normal de un sistema cárstico. En un primer estadio se origina la red de cavernas por la acción química y erosiva de las aguas sub-

terráneas. Más adelante, la red fluvial hipogea se va desplazando hacia niveles más profundos del macizo rocoso, abandonando las partes altas del *karst*, que quedan sólo rellenas de aire. Una caverna puede volver a llenarse de agua si impiden su salida nuevos movimientos tectónicos o si un derrumbamiento obstruye la surgencia.

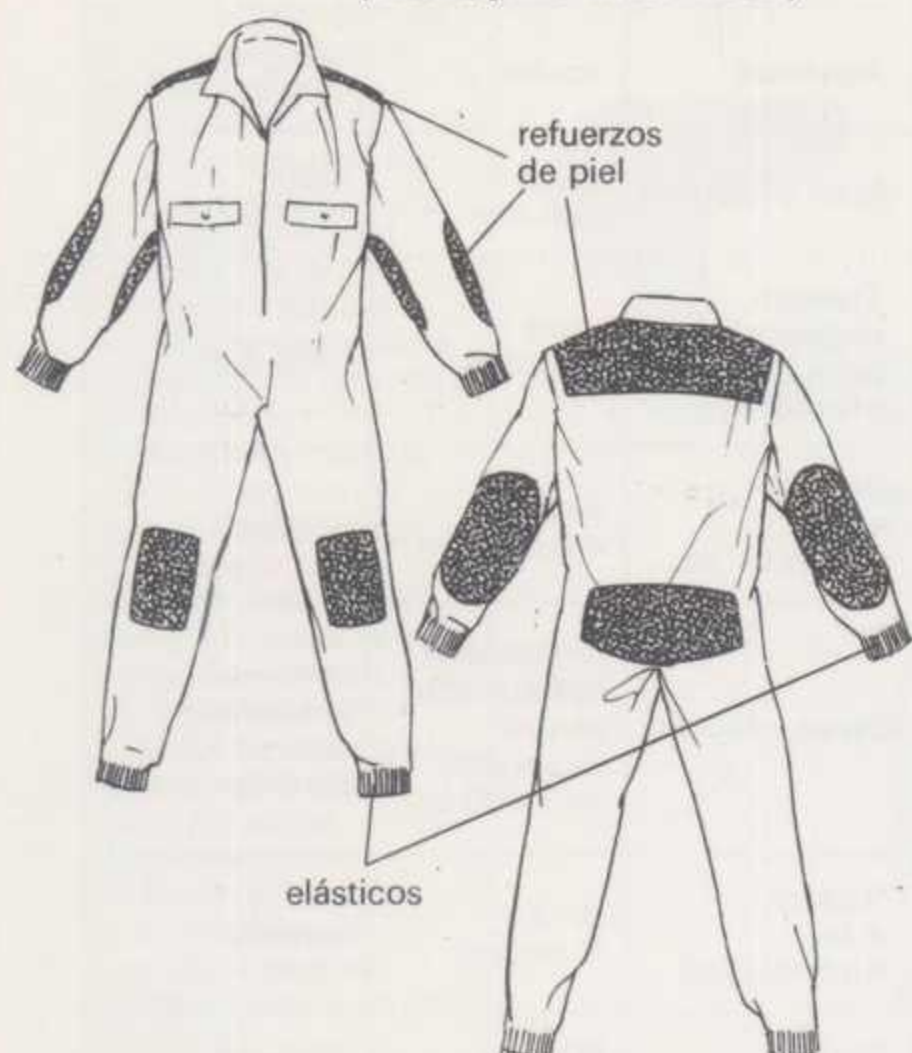
Escenas de caza La historia de la relación humana con las grutas y cavernas se remonta a la Prehistoria, cuando éstas ofrecieron a los hombres del Paleolítico refugio y calor. Las grutas proporcionan actualmente una gran cantidad de testimonios sobre la vida de las tribus prehistóricas. Prueba de ello son las pinturas rupestres encontradas en las paredes de algunas cuevas, como las famosas de Lascaux (Francia) o de Altamira (España).



Brazzale



MONO
(antidesgarre-anticorrosión)

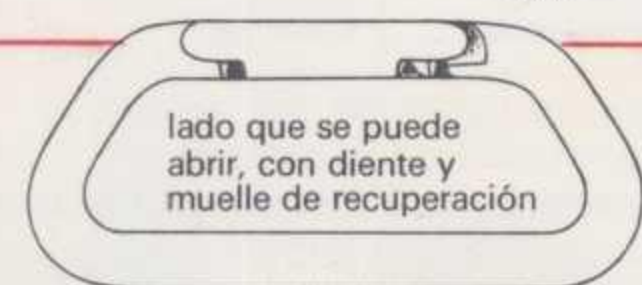


P. Agnoletti



Arriba, dos espeleólogos que recorren un río subterráneo en bote hinchable. En la página anterior, un espeleólogo asciende por una sima con una escala de acero y cuerda de seguro. La escala flexible está formada por dos

delgados cabos metálicos (carga de ruptura: 1.000-1.300 kg) con travesaños de aleación ligera, fijados por medio de tacos también de aleación ligera. Además de la ligereza y de la maniobrabilidad, estas escalas ofrecen una gran seguridad.

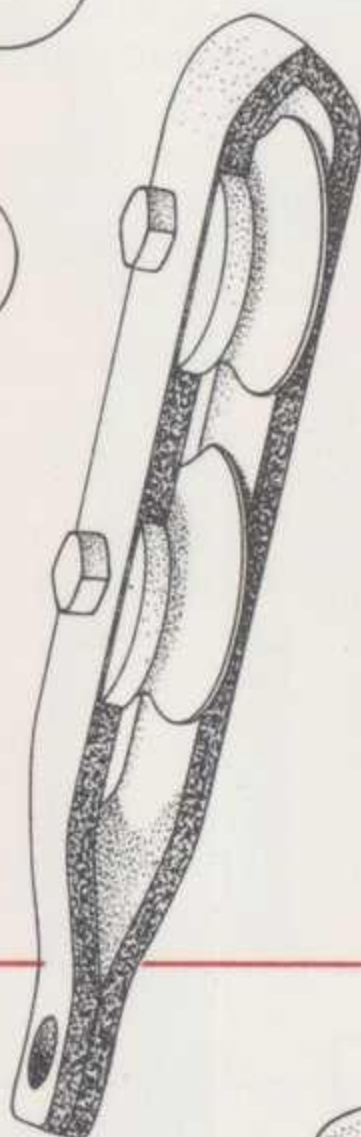


MOSQUETONES



CLAVIJA
de roca

DESCENSOR
del tipo belga,
con ruedas fijas

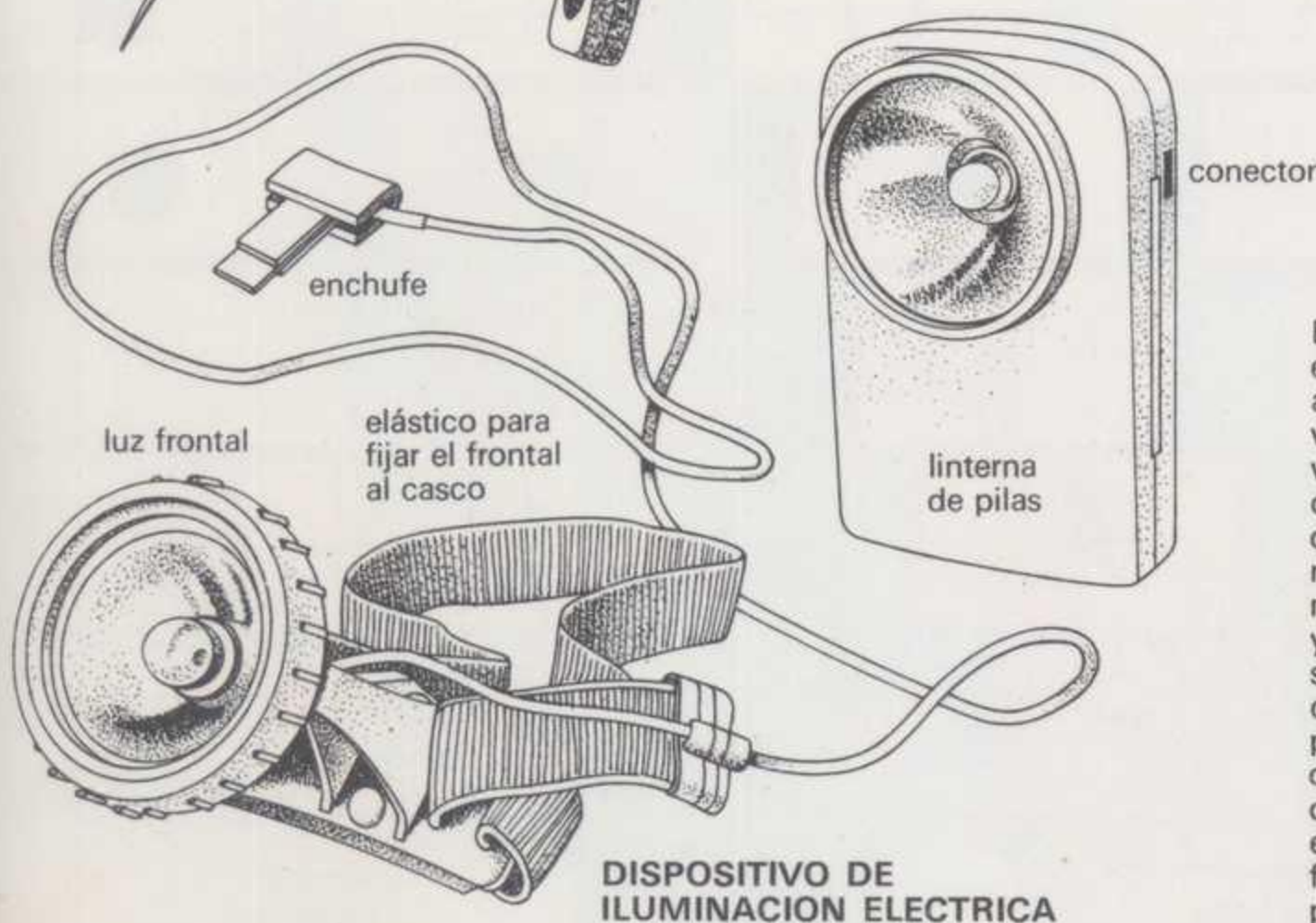


ESPELEOLOGO
con mono y casco

Dichas pinturas demuestran un extraordinario grado de conocimiento artístico. Fueron pintadas con los materiales más primitivos: arcilla rica en óxidos de hierro, para el rojo; hollín, para el negro; y otros pigmentos naturales. Las escenas, generalmente de caza, se han conservado hasta la actualidad perfectamente, de modo que es posible reconocer qué animales se cazaban en aquellos tiempos y cómo se utilizaban las pieles y otras partes de los mismos.

La Espeleología La Espeleología, término que significa literalmente "estudio de las cavernas", está hoy en día dividida en cuatro ramas, cada una de las cuales tiene sus propios objetivos específicos. La *Geoespeleología* estudia la génesis de las cavernas y analiza las formas cársticas subterráneas; la *Hidrogeología* cárstica analiza la dinámica subterránea del agua y su acción sobre las rocas en el sistema cárstico; la *Antropología espeleológica* estudia la asociación humana con las grutas; la *Bioespeleología* investiga la actividad orgánica en el medio hipogeo. Esta última rama es particularmente interesante, puesto que hay bastantes especies de animales, como algunos peces, crustáceos y salamandras, que se han adaptado completamente a la vida en cavernas, un mundo en el que no existe la luz. La evolución ha jugado su papel y ahora muchos de estos animales son ciegos. Las grutas más bellas y más fácilmente accesibles desde los centros habitados constituyen a menudo un importante reclamo turístico.

Véase **Aguas subterráneas; Erosión; Fallas y pliegues; Geología; Río; Rocas sedimentarias**



El equipo de un espeleólogo incluye, además de la vestimenta, una gran variedad de aparejos que le permiten desplazarse rápidamente por el mundo de las grutas y con la misma rapidez salir ileso (cuerdas, clavos, martillos, perforadoras, cabestrantes y frenos de autobloqueo, escalas de metal flexibles, estribos, pértigas y poleas).

DISPOSITIVO DE ILUMINACION ELECTRICA

Guerra bacteriológica

Durante la Edad Media, los cadáveres de las víctimas del cólera y la peste se dejaban caer o se catapultaban a veces dentro de los muros de las ciudades asediadas. Estos "misiles humanos" pueden parecer unas bombas biológicas muy toscas, pero muestran claramente que el hombre se ha interesado por la guerra bacteriológica, o biológica, desde hace mucho tiempo.

La guerra biológica ha tenido a lo largo de los siglos un oscuro atractivo para los estrategas militares; mientras tanto, los nuevos descubrimientos de la moderna Química y Microbiología han dado a los investigadores la posibilidad de sintetizar y cultivar en el laboratorio cierto número de agentes patógenos mortales o de organismos portadores de enfermedades. Hasta el momento, sin embargo, las armas biológicas, a diferencia de los agentes químicos, no se han utilizado en gran escala o de una forma científicamente organizada en los conflictos bélicos.

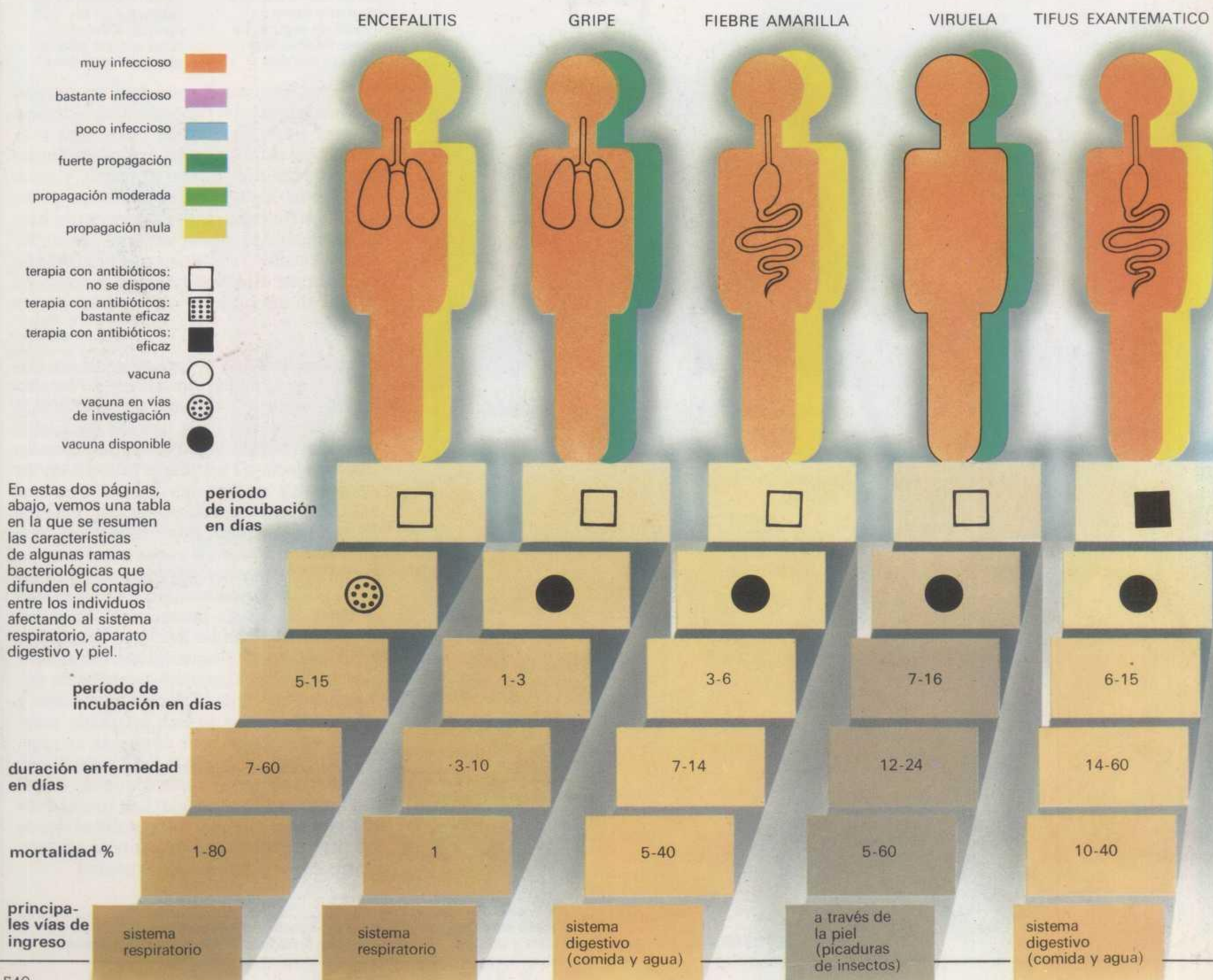
En tiempo de guerra, los agentes biológicos tienen ciertamente muchas ventajas

sobre los químicos. El hecho de que sean organismos vivos significa que se pueden reproducir rápidamente, de modo que sería suficiente una pequeña cantidad para cubrir un área muy amplia.

Otra de las ventajas es que, a diferencia de muchos *sprays* químicos, no provocan efectos fisiológicos inmediatos o señales fáciles de ver que pongan en guardia contra la presencia de los agentes biológicos. Estos agentes patógenos, de todas formas, tienen que pasar normalmente por un período de incubación —que varía de unas horas a varias semanas— antes de manifestar su virulencia, y en esto se diferencian del ataque inmediato de las sustancias químicas; este factor puede suponer una desventaja militar cuando las operaciones exigen un efecto inmediato.

Enfermedades del campo de batalla Los cadáveres infectados, además de utilizarse como proyectiles portadores de enfermedades, también se emplearon para contaminar los suministros de agua del enemigo durante la Edad Media.

TIPO DE ARMA		
Agentes	nuclear	biológica (10 tm de agente)
Area afectada	hasta 300 km ²	hasta 100.000 km ²
Tiempo requerido para hacer efecto	unos segundos	unos días
Daños en las estructuras	amplia distribución	ninguno
Otros efectos	prolongada radiactividad dentro de un área de 2.500 km ²	eventual epidemia o nuevos focos de enfermedad
Vuelta a la normalidad	de 3 a 6 meses	variable
Efectos en el hombre	90% de muertos	50% de enfermos



En tiempos más modernos, se cree que Napoleón anegó intencionadamente las tierras que rodeaban la ciudad de Mantua, asediada por sus tropas, convencido de que así se podría propagar el paludismo entre los soldados y la población. Sin embargo, estos intentos esporádicos de guerra biológica, la mayoría de las veces inútiles, fueron superados con creces por los estragos de las enfermedades que se propagaban de forma espontánea durante las guerras. En efecto, los campos de batalla, según todos los indicios, son caldos de cultivo naturales para las enfermedades, y se piensa que hasta épocas recientes las epidemias naturales han causado más víctimas en los conflictos que el combate propiamente dicho.

Difusión de los gérmenes Actualmente, en los laboratorios se pueden cultivar microorganismos de todo tipo (virus, bacterias, hongos, rickettsias) para destinarlos a fines militares. Los progresos de la Bioquímica, además, han hecho posible la obtención de híbridos de distintos virus o

bacterias, o la creación de cepas con una poderosa toxicidad.

En cualquier caso, el agente biológico, para resultar eficaz, tiene que ser muy infeccioso, se tiene que propagar con rapidez y debe resistir al calor, a la luz del Sol y a la sequedad. Además tiene que ocasionar rápidamente graves enfermedades o la muerte. Otro dato importante es que se tiene que propagar en un área en la que no exista inmunidad natural a esa enfermedad.

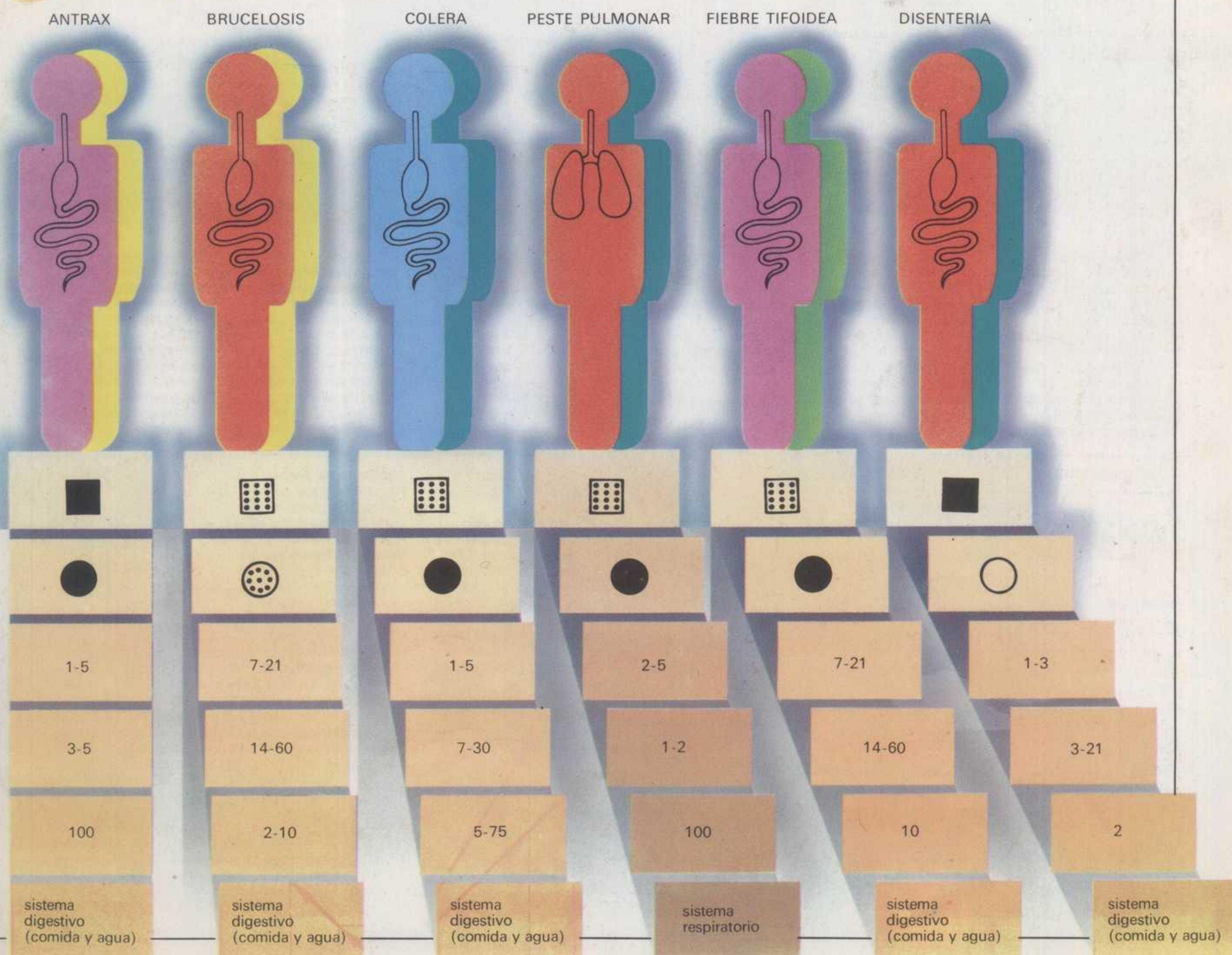
El cólera, el tifus y la viruela son tres de las enfermedades que con toda seguridad se emplearían en una guerra bacteriológica de unos hombres contra otros. También se ha estudiado —en esos ámbitos que se ocupan de buscar armas cada vez más destructivas— la propagación de agentes patógenos para combatir a plantas o animales que suministren víveres al enemigo. El ántrax y la brucelosis, por ejemplo, atacan tanto al hombre como a ciertas especies animales, mientras que hay gran cantidad de agentes patógenos que atacan a las plantas.

Los agentes causantes de estas enfermedades pueden propagarse de varias formas. Se pueden diseminar envenenando los suministros de comida y agua, rociados por aerosol desde aviones y misiles o lanzados por medio de bombas. Hasta el momento las mejores defensas contra estas armas son los trajes protectores, los refugios y los programas de inmunización, unidos a severas medidas sanitarias.

Desastre biológico Las armas biológicas están rodeadas de controversias, ya que la idea de que se puedan propagar ciertas formas nuevas y terroríficas de enfermedad en poblaciones inocentes, que podrían incluir tanto a los soldados como a los civiles, resulta realmente aterradora.

En la Conferencia de Ginebra para el Desarme de 1971, se firmó un tratado que proscribe la guerra biológica; este tratado fue aprobado por la Asamblea General de la ONU en 1971 y firmado por 71 países, entre los que se encuentran los Estados Unidos y la Unión Soviética.

Véase **Enfermedad infecciosa**



Guerra química

El 22 de abril de 1915 las tropas alemanas y aliadas se estaban enfrentando en un combate mortal en las cercanías de Ypres, en Bélgica. Hacia el crepúsculo, las tropas aliadas situadas en las primeras trincheras notaron con estupor que una extraña nube verde-amarillenta avanzaba hacia sus posiciones. Súbitamente, la nube, de olor sofocante, sembró el pánico entre las tropas. Centenares de hombres se asfixiaron en pocos minutos, y otros miles quedaron cegados. Regimientos enteros se vieron reducidos al paroxismo de la desesperación y los cuerpos de aquellos hombres fueron presa de las náuseas y del miedo. Aquel día fue el principio del empleo de sustancias tóxicas en el campo bélico, y de este modo un arma nueva y terrible venía a agregarse a los elementos de los modernos arsenales.

El gas utilizado por los alemanes era el cloro, un veneno relativamente "benigno"

en comparación con la extensa relación de fármacos y supervenenos químicos descubiertos ya en aquellos días por los laboratorios secretos dispersos por todo el mundo. La guerra química ocupa políticamente una posición ambigua. Fue excluida del protocolo de Ginebra de 1925 que resultó aprobado y firmado por 29 naciones, entre las cuales se encontraban los Estados Unidos, aunque posteriormente el senado norteamericano rehusó ratificar este documento. Hoy en día, la política oficial de los Estados Unidos en los enfrentamientos con armas químicas es la de no ser los primeros en hacer uso de ellas en un terreno de batalla, aunque podrían utilizarlas en un contraataque frente a otra agresión química del enemigo.

A pesar de que las armas químicas permanecen inactivas, ingentes cantidades de gas nervioso están almacenadas en los depósitos, listas para ser utilizadas en

cualquier momento, y en el mundo entero continúa la fabricación de armas químicas de todo tipo.

En Vietnam, los Estados Unidos hicieron uso del gas para desalojar a los soldados del Vietcong de las cuevas, de los bunkers y de la jungla, y lanzaron grandes cantidades de herbicidas para obtener la defoliación de la jungla y la destrucción de las cosechas. Mientras tanto, van surgiendo noticias del uso de venenos químicos letales en Asia, en Yemen y, más recientemente, en Afganistán, donde se ha informado que los rusos están empleando varias toxinas químicas junto con la utilización de armas convencionales.

Primera generación de armas químicas

Inicialmente, en el transcurso de la I Guerra Mundial, los alemanes comenzaron a utilizar el gas por "necesidad", ya que al principio de la guerra dispusieron de es-



Arriba, algunos de los métodos de esparcimiento del gas utilizados en la guerra química. A la izquierda, la difusión sencilla, desde una trinchera, de un gas como el cloro. Es preciso, para garantizar la seguridad, que durante todo el tiempo

de emisión de la sustancia tóxica la dirección del viento permanezca constante desde la trinchera de emisión hacia la enemiga. Este hecho tan sencillo limita los períodos favorables para el uso de esta arma química. A la derecha se ha

representado un proyectil de artillería visto desde el exterior, y más a su derecha, una sección longitudinal del tipo diseñado para ser utilizado en el esparcimiento de agentes químicos. Mediante el lanzamiento de

un proyectil como éste, el esparcimiento es posible aun en el caso de que el viento sea contrario: basta con lanzar el proyectil más allá de las líneas enemigas, de modo que sea el propio viento el que vuelva a arrastrar el gas hacia las líneas enemigas, y vaya

diluyéndose luego progresivamente, de forma que al llegar al lugar de emisión sea posible defenderse de éste con un mínimo de protección. Se puede observar cómo en el interior del proyectil sólo aparece una pequeña cantidad de explosivo, mientras que

el resto, la mayor parte del volumen, está constituido por sustancia química. Más a la derecha aparece el lanzamiento con un mortero especial de una granada cargada de agentes tóxicos. Finalmente, se muestra el

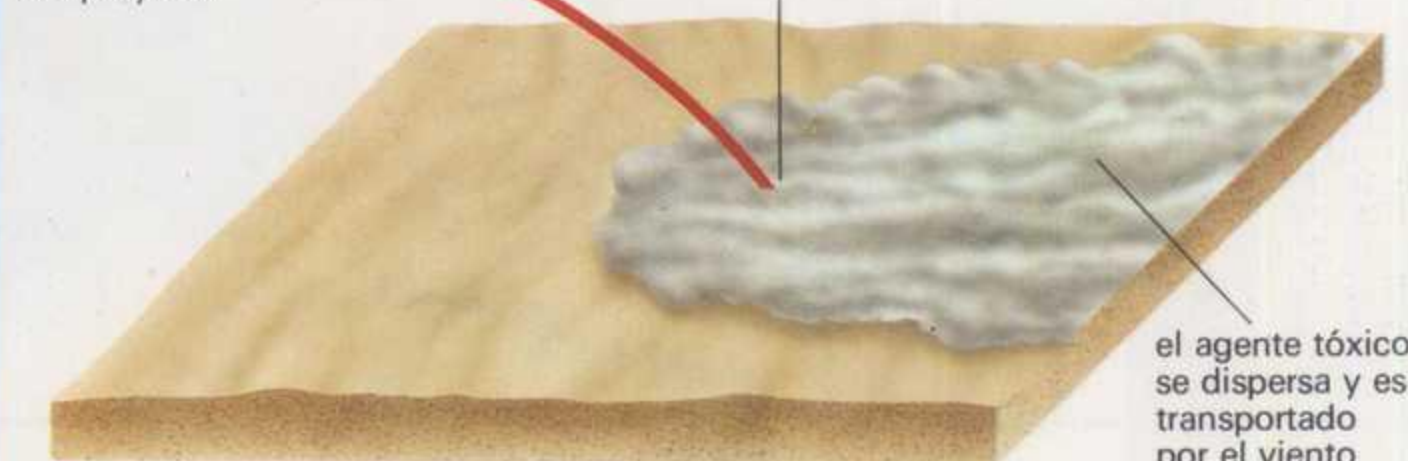
AGENTE QUIMICO	AREA AFECTADA	
sarin		2 kilómetros cuadrados
VX (pulverizador corriente)		6 kilómetros cuadrados
toxina botulínica		cerca de 12 kilómetros cuadrados
VX (aerosol)		cerca de 40 kilómetros cuadrados

Abajo, se puede observar cómo transcurre el esparcimiento del agente químico en torno al punto en el cual cae el proyectil que lo ha transportado hasta su blanco. Alrededor de la explosión, el gas se difunde en un primer momento en todas las

direcciones, pero a continuación es arrastrado por el viento que lo dirige hacia la tierra, siguiendo su propio desplazamiento. Por este motivo, es indispensable antes de su utilización conocer las características del viento y las posibilidades de cambio de dirección.

trayectoria de la caída del proyectil

punto de impacto



el agente tóxico se dispersa y es transportado por el viento

Tipo y nombre	Estado	Olor	Zona del cuerpo afectada	Dosificación DL 50		
Gas nervioso			Sistema respiratorio, ojos, glándulas salivares y sudoríparas; corazón, sistemas digestivo, excretor y nervioso central; provoca parálisis	Dosis en la piel mg/hombre	Inhalada mg min/m ³	Ingerida mg/hombre
Tabun "GA"	Líquido o vapor	Fruta		1.000	400	40
Sarin "GB"	Líquido o vapor	Casi ninguno		1.700	100	10
VX	Líquido	?		15	36	5
Agentes vesicantes			Ojos y piel, pulmones y otros órganos internos; provoca bronconeumonías	4.500	1.500	50
Mostaza destilada	Líquido o vapor	Ajo		4.500	1.500	50
Mostaza nitrogenada	Líquido o vapor	Pez				
Agentes asfixiantes			Organos respiratorios; asfixia producida por hipersecreción de moco	3.200		
Fosgeno	Gas incoloro	Heno recién cortado				
Agentes inhabilitantes			Ojos y piel, sistema respiratorio	11.000		
"CN"	Vapor visible	Flor del manzano	Sistemas nervioso, respiratorio y digestivo			
"CS"	Vapor visible	Pimienta	Corazón, sistema nervioso central; provoca alucinaciones y locura	61.000		
"BZ"	Vapor	?		200.000		
Toxinas			Tejidos, sistema nervioso central; provoca deshidratación y parálisis	0,0000" (vía heridas)		
Botulínica "X", "A"	Polvo o líquido	?	Sistema nervioso; provoca parálisis	0,05 (vía heridas)	0,1	0,07
Savitoxina "TZ"	Polvo o líquido	?	Sistema digestivo, excretor, tejidos, pulmones	Desconocida	5	
Enterotoxina "B"	Polvo o líquido	?			200	500

casco (independiente)

lentes de gran ángulo

orificio de expulsión del aire

filtro antigás para la inspiración de aire

autoprotector de campaña

protección para el material transportado (armas, radio, raciones, agua)

guantes de gran flexibilidad

esparcimiento directo por medio de un avión. Este mismo método puede resultar muy eficaz en otras formas de empleo: por ejemplo, transportando hasta el blanco la sustancia tóxica contenida en bombas o en granadas que difundirán su carga al tocar tierra y hacer explosión. Este hecho limita la dispersión del líquido o del gas. En cualquier caso, el lanzamiento aéreo exige una cota de vuelo baja, por encima del terreno.

casas reservas de pólvora para municiones. Después de haber experimentado y comprobado su eficacia militar, los mandos de ambas partes optaron por esta nueva forma de combate, ignorando la protesta popular despertada por el uso de los gases tóxicos.

Las primeras de estas sustancias bélicas, el cloro y el fosgeno, son agentes que causan lesiones y congestión de los pulmones y finalmente producen la asfixia. El desarrollo de las máscaras antigás y de los mecanismos protectores inherentes en la

cubrepiés desechables

En muchos casos es necesario que incluso quien utilice en su campo las sustancias químicas esté protegido de ellas. En esta figura se puede ver un soldado con una protección adecuada. Va cubierto con un mono que resguarda el cuerpo entero de los agentes tóxicos. En efecto, muchos tóxicos son agresivos no sólo para las vías respiratorias, los ojos y el sistema nervioso, sino también para la piel, sobre la cual pueden actuar irritándola y provocando la aparición de llagas. Además, es posible que surja un ataque mediante el uso de un tipo específico de agente tóxico durante un cierto período y, cuando el adversario consiga equiparse para su defensa, se utilice un tipo distinto de agente, capaz de neutralizar esta última. Una parte importantísima del material protector lo constituye la máscara de aire con filtro.

época de 1917 pone término de inmediato al reino aterrador del cloro y del fosgeno.

Mientras tanto, los químicos alemanes habían sintetizado un nuevo veneno que no necesitaba ser inhalado para cumplir su misión destructiva. Se trataba de la iperita o gas mostaza, un agente vesicante. Absorbido interna o externamente, provocaba inflamaciones, vesículas y la destrucción general de los tejidos. La iperita demostró ser, con mucho, el agente químico más eficaz en el transcurso de la I Guerra Mundial.

El mortífero gas nervioso La amenaza de las armas químicas azechó como una nube tormentosa durante el curso de la II Guerra Mundial. Sin embargo, a pesar de los grandes logros conseguidos en la investigación científica, los alemanes no llegaron a utilizar las armas químicas, aunque, con ellas, posiblemente habrían cambiado el rumbo de batallas tan decisivas como fueron la de Stalingrado y la de Normandía. Probablemente la razón de tal indecisión residió en la experiencia personal de Hitler en el transcurso de la I Guerra Mundial. Siendo cabo del ejército alemán, Hitler estuvo retirado durante un cierto tiempo en un hospital, recuperándose de las consecuencias de un ataque efectuado con gas, experiencia que suscitó en él una repugnancia hacia este arma que perduró toda su vida. Esta política de abstención es particularmente significativa, ya que los alemanes gozaban de una ventaja notoria sobre otros países en el desarrollo de las armas químicas. En 1936 mientras trabajaba en la elaboración de un nuevo insecticida, un científico alemán sintetizó un mortífero gas nervioso, que hoy en día continúa siendo el arma principal en la guerra química.

Véase **Defoliación; Máscara antigás**

En muchos casos es necesario que incluso quien utilice en su campo las sustancias químicas esté protegido de ellas. En esta figura se puede ver un soldado con una protección adecuada. Va cubierto con un mono que resguarda el cuerpo entero de los agentes tóxicos. En efecto, muchos tóxicos son agresivos no sólo para las vías respiratorias, los ojos y el sistema nervioso, sino también para la piel, sobre la cual pueden actuar irritándola y provocando la aparición de llagas. Además, es posible que surja un ataque mediante el uso de un tipo específico de agente tóxico durante un cierto período y, cuando el adversario consiga equiparse para su defensa, se utilice un tipo distinto de agente, capaz de neutralizar esta última. Una parte importantísima del material protector lo constituye la máscara de aire con filtro.

época de 1917 pone término de inmediato al reino aterrador del cloro y del fosgeno.

Mientras tanto, los químicos alemanes habían sintetizado un nuevo veneno que no necesitaba ser inhalado para cumplir su misión destructiva. Se trataba de la iperita o gas mostaza, un agente vesicante. Absorbido interna o externamente, provocaba inflamaciones, vesículas y la destrucción general de los tejidos. La iperita demostró ser, con mucho, el agente químico más eficaz en el transcurso de la I Guerra Mundial.

El mortífero gas nervioso La amenaza de las armas químicas acochó como una nube tormentosa durante el curso de la II Guerra Mundial. Sin embargo, a pesar de los grandes logros conseguidos en la investigación científica, los alemanes no llegaron a utilizar las armas químicas, aunque, con ellas, posiblemente habrían cambiado el rumbo de batallas tan decisivas como fueron la de Stalingrado y la de Normandía. Probablemente la razón de tal indecisión residió en la experiencia personal de Hitler en el transcurso de la I Guerra Mundial. Siendo cabo del ejército alemán, Hitler estuvo retirado durante un cierto tiempo en un hospital, recuperándose de las consecuencias de un ataque efectuado con gas, experiencia que suscitó en él una repugnancia hacia este arma, que perduró toda su vida. Esta política de abstención es particularmente significativa, ya que los alemanes gozaban de una ventaja notoria sobre otros países en el desarrollo de las armas químicas. En 1936, mientras trabajaba en la elaboración de un nuevo insecticida, un científico alemán sintetizó un mortífero gas nervioso, que hoy en día continúa siendo el arma principal en la guerra química.

Véase **Defoliación; Máscara antigás**

Guitarra

La guitarra descende de un instrumento que ha evolucionado a lo largo de los siglos, principalmente en España. Desde el siglo XIII existen testimonios de instrumentos que pueden considerarse los antepasados de la guitarra: la *guitarra morisca*, de origen árabe, y la *guitarra latina*, descendiente directa de un instrumento de arco medieval con cuatro cuerdas dobles, la *fidula*. La *guitarra clásica* debe sus características al fabricante de instrumentos de cuerda Antonio Torres, quien en 1850 hizo evolucionar la guitarra española hacia un tipo más completo, potente y refinado, que se convertiría en el prototipo de todas las guitarras clásicas modernas. Posteriormente el compositor y guitarrista Francisco Tárrega creó una nueva técnica que permitía al artista explotar las posibilidades de la guitarra clásica y que fue la base de la técnica guitarrística moderna. En tiempos más recientes, Andrés Segovia ha dado a conocer universalmente la guitarra, que ha sido aceptada como un instrumento de calidad en el mundo de la música.

Las partes de la guitarra La parte principal de la guitarra es la *caja de resonancia*, en forma de óvalo estrechado en su parte media y constituida por dos tapas unidas por una franja plana. La tapa anterior presenta una abertura circular, generalmente decorada, y un mango o mástil en un extremo. El mástil hace las veces de teclado y está cruzado por unas barritas transversales que reciben el nombre de *trastes* y que sirven para que el ejecutante pueda acortar la longitud de la cuerda y obtener el sonido deseado. La distancia entre los trastes es de un semitono y disminuye conforme se aproxima a las notas más agudas, o sea, en dirección a la abertura. Las *cuerdas* son seis y están fijadas a la parte inferior de la caja de resonancia por un *punteo*, o *ceja*, de madera. Las cuerdas son templadas por sendas clavijas situadas en el extremo del mástil.

La construcción Para la construcción de guitarras es necesario utilizar madera seca. La sequedad que antes se conseguía de forma natural, hoy puede producirse artificialmente con hornos de aire caliente, a fin de ganar tiempo. De la calidad de la madera dependen la vibración y la respuesta acústica del instrumento.

Con vistas a mejorar las posibilidades de la guitarra, se han hecho intentos para fijar científicamente las cualidades de resonancia de las maderas; pero las guitarras de mayor calidad todavía se hacen con las maderas tradicionalmente aceptadas como mejores: píceas para la tapa de la caja, palisandro para los lados y la parte posterior, ébano para el tablero de notas y cedro cubano para el mástil.

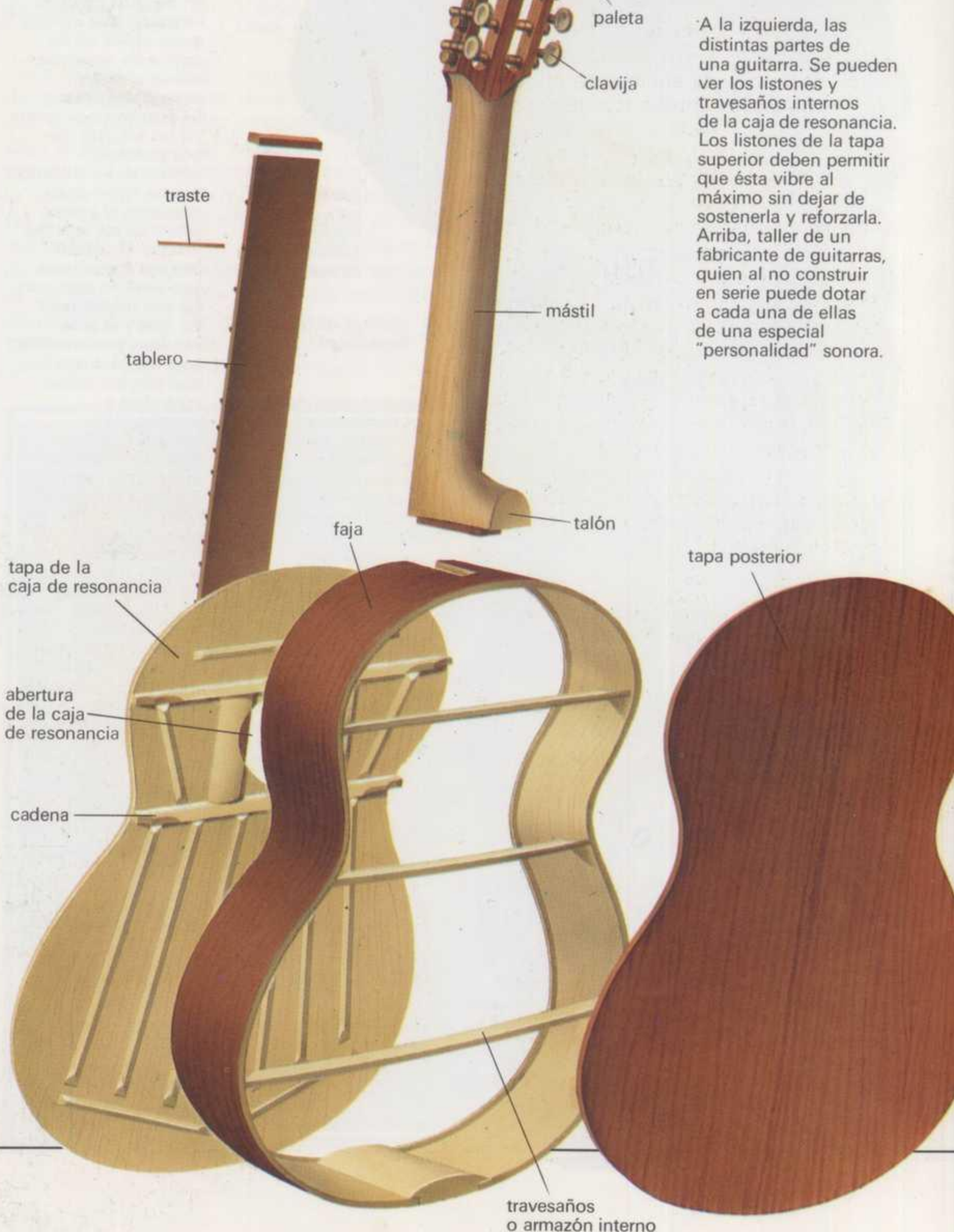
Una vez preparadas las distintas piezas, se procede a la construcción, operación que se hace uniéndolas perfectamente las tapas y el mástil sobre un molde fijo adecuado, a fin de consolidar la estructura final del instrumento.

Después de encolar el tablero al mástil, se aplican sobre aquél las barritas transversales, añadiendo luego el puente y las clavijas.

Terminado el ensamblaje, se procede al barnizado de la madera. El barniz, en general de resina sintética, tiene como objeto conservar el instrumento y es parte determinante en su rendimiento sonoro.

La guitarra acústica La guitarra acústica se basa en que las vibraciones de las cuerdas pasan a través del puente a la caja de resonancia, que actúa amplificando el sonido. Las ondas sonoras son desviadas de la superficie interna de la caja de resonancia y enviadas hacia el exterior a través de la abertura de resonancia. El tamaño, la forma y la construcción del cuerpo (tapa de resonancia, partes trasera y lateral) determinan la cantidad y la calidad del sonido.

La guitarra acústica de encordado único o doble se ha convertido en el instrumento por excelencia del *folk* y el *blues*.



A la izquierda, las distintas partes de una guitarra. Se pueden ver los listones y travesaños internos de la caja de resonancia. Los listones de la tapa superior deben permitir que ésta vibre al máximo sin dejar de sostenerla y reforzarla. Arriba, taller de un fabricante de guitarras, quien al no construir en serie puede dotar a cada una de ellas de una especial "personalidad" sonora.

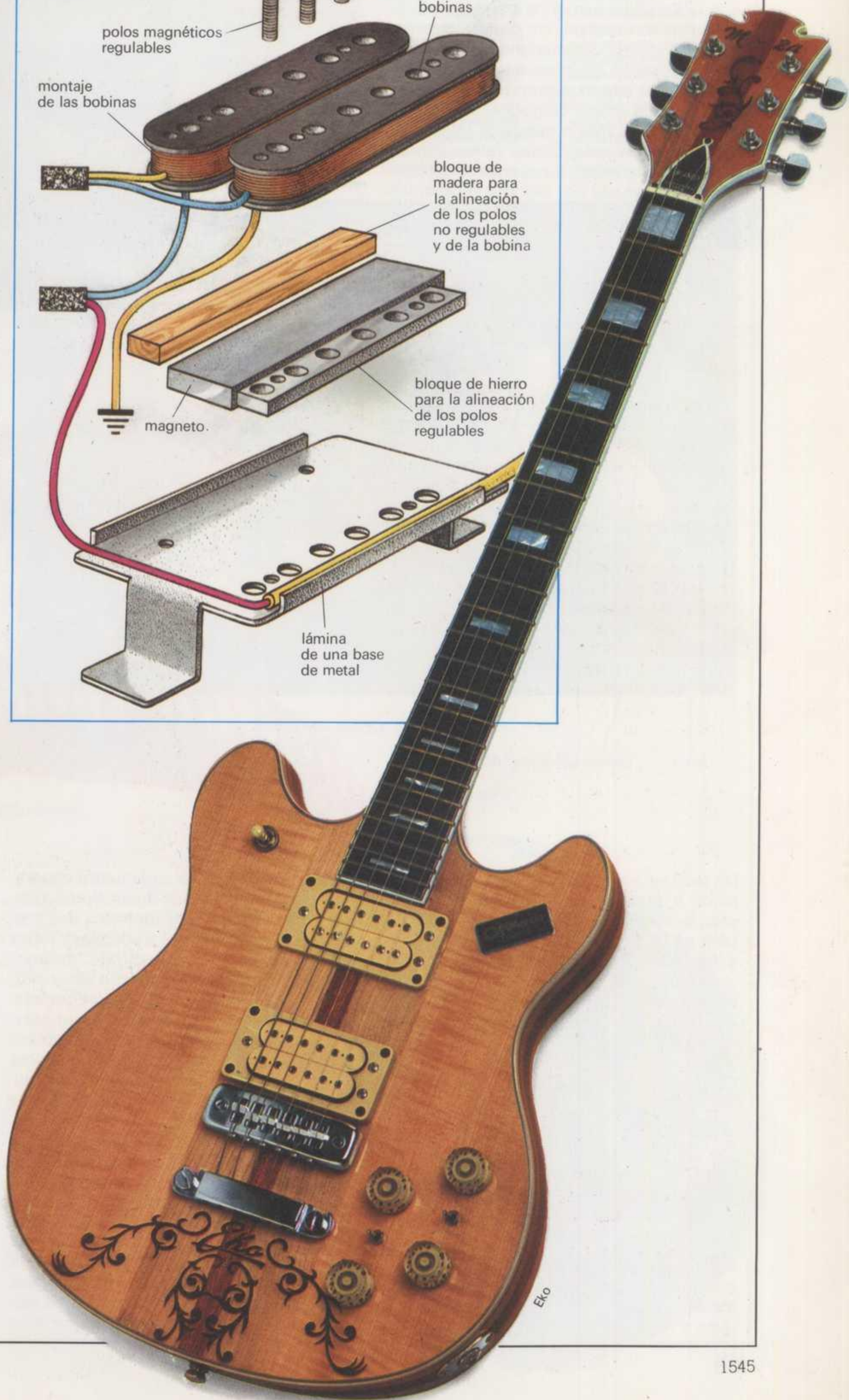
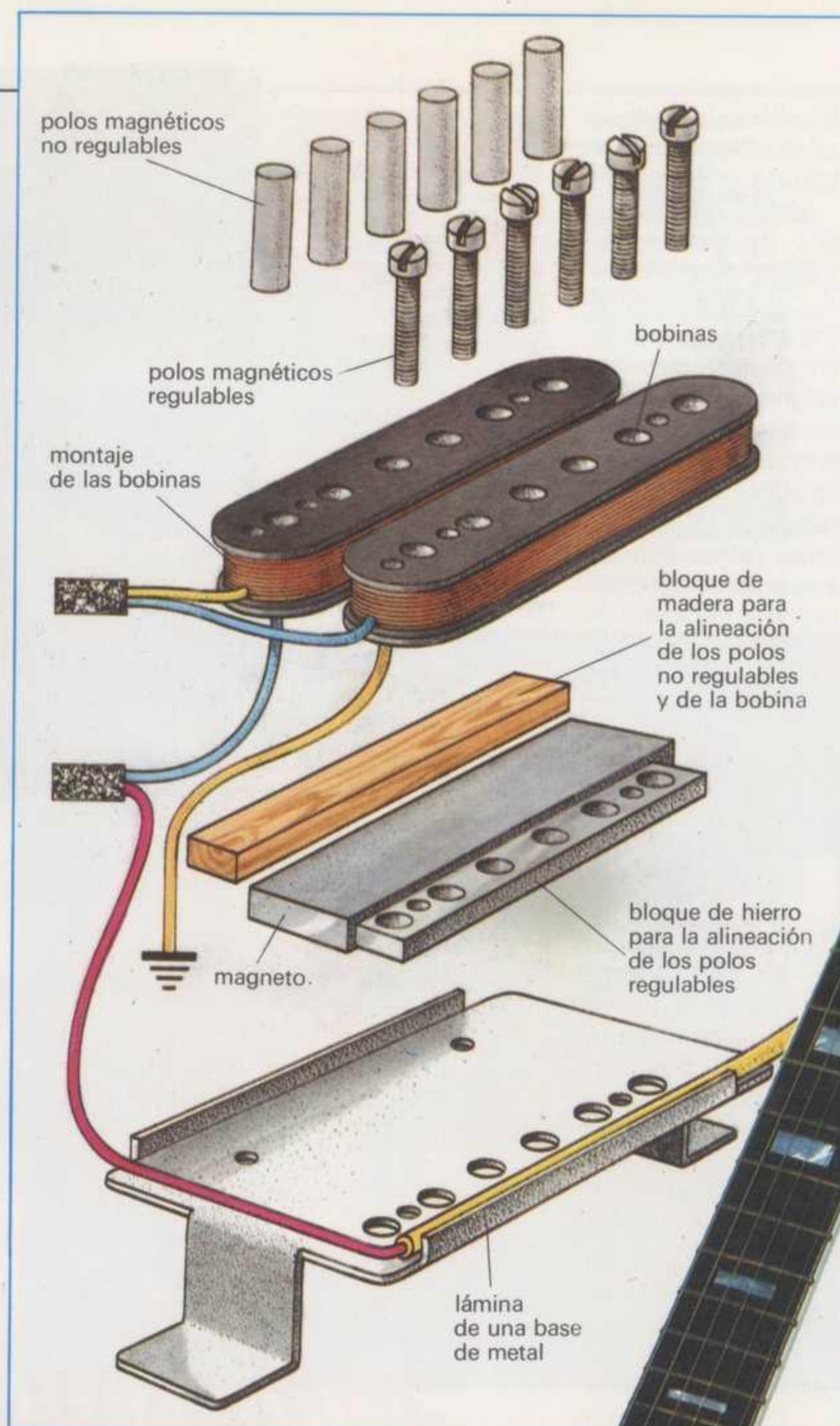


La guitarra eléctrica El sonido de la guitarra eléctrica se produce por la vibración de la cuerda encima de una bobina y un imán. Las cuerdas son de acero o de cualquier otro material magnético, y bajo cada una de ellas se coloca un pequeño imán rodeado por una bobina conductora (el *pick-up*). Cuando la cuerda vibra, el campo magnético circundante queda distorsionado, lo que induce un voltaje en la bobina. La frecuencia del impulso generado corresponde en teoría a la frecuencia de la nota musical. Las señales eléctricas resultantes pasan a un amplificador electrónico, y finalmente se convierten en sonido. El cuerpo de la guitarra eléctrica no desempeña casi ningún papel en cuanto a la calidad o cantidad de sonido. Los mandos de volumen y tono se emplean para regular la energía y calidad del sonido, que llega desde un micrófono conectado al amplificador.

Véase Instrumentos musicales; Instrumentos musicales eléctricos y electrónicos; Piano

A la derecha, una guitarra eléctrica con la cual se obtienen, a través de amplificaciones y elaboración de señales eléctricas, particulares efectos sonoros, además de ser posible aumentar el sonido a voluntad. Arriba, el dispositivo con el cual se capta la vibración para

transformarla en señal eléctrica. Se trata de dos bobinas de hilos de cobre envueltas en dos núcleos magnéticos. Estos están subdivididos en anclas de hierro que pueden discurrir hacia arriba y hacia abajo a modo de tornillo para regular de ese modo la eficacia de la repetición.



Gusano

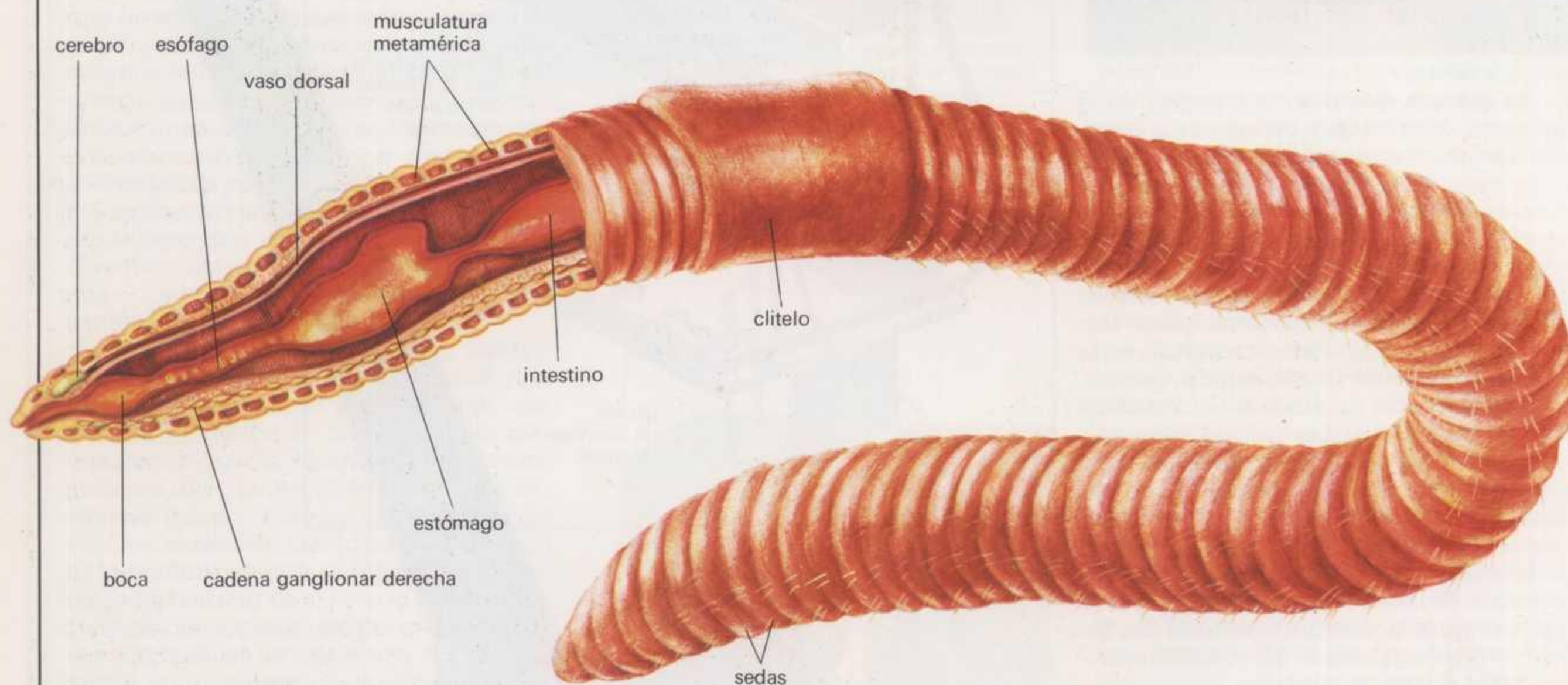
Con el nombre de *gusano* se conoce a un grupo de animales invertebrados alargados, de cuerpo blando y contráctil y a veces dividido en anillos, con forma generalmente cilíndrica y sin extremidades articuladas. Sin embargo, la uniformidad de caracteres es sólo aparente, por lo que la Zoología actual ha fragmentado el grupo en diversos *phylum*, cada uno de los cuales presenta características diferentes.

Los gusanos propiamente dichos son los *Anélidos*, que comprenden las lombrices de tierra (clase Oligoquetos), los gusanos marinos, más numerosos (clase Poliquetos), y las sanguijuelas (clase Hirudíneos). Generalmente su cuerpo es cilíndrico y está formado por muchos segmentos similares. El nombre del *phylum* describe esta característica, ya que procede del latín *annellus*, anillo. Este fenómeno de la segmentación del cuerpo se conoce como *metamerismo*, y las divisiones que resul-

Junto a estas líneas, hacia la derecha, vemos un detalle de una colonia del gusano poliqueto sedentario *Sabellaria alveolata*, perteneciente a la familia de los *Arenicolídeos*. La *Sabellaria* es uno de los más buscados por los pescadores de caña. La colonia tiene el aspecto de una piedra o escollo finamente agujereada, en la que se asoman y se agitan los extremos cefálicos; a la menor señal de alarma, se retiran de golpe dentro de sus refugios y desaparecen como por arte de magia. Abajo, representación esquemática del gusano por excelencia, la lombriz.



D. P. Wilson



tan reciben los nombres de *segmentos*, *somitos* o *metámeros*. El metamerismo no sólo se manifiesta externamente, sino también en la disposición interna de órganos y sistemas. Otra característica general de los *Anélidos* es la presencia de sedas quitinosas sobre los parápodos, apéndices que facilitan la locomoción. Los Poliquetos tienen muchas y vistosas sedas, carácter al que alude su nombre, mientras que los Oligoquetos poseen menos y son más cortas. Todos los *Anélidos* tienen un espacio lleno de fluido entre la pared externa de su cuerpo y los órganos internos, cuya función es formar, junto con los músculos circulares y longitudinales, una especie de "esqueleto hidrostático".

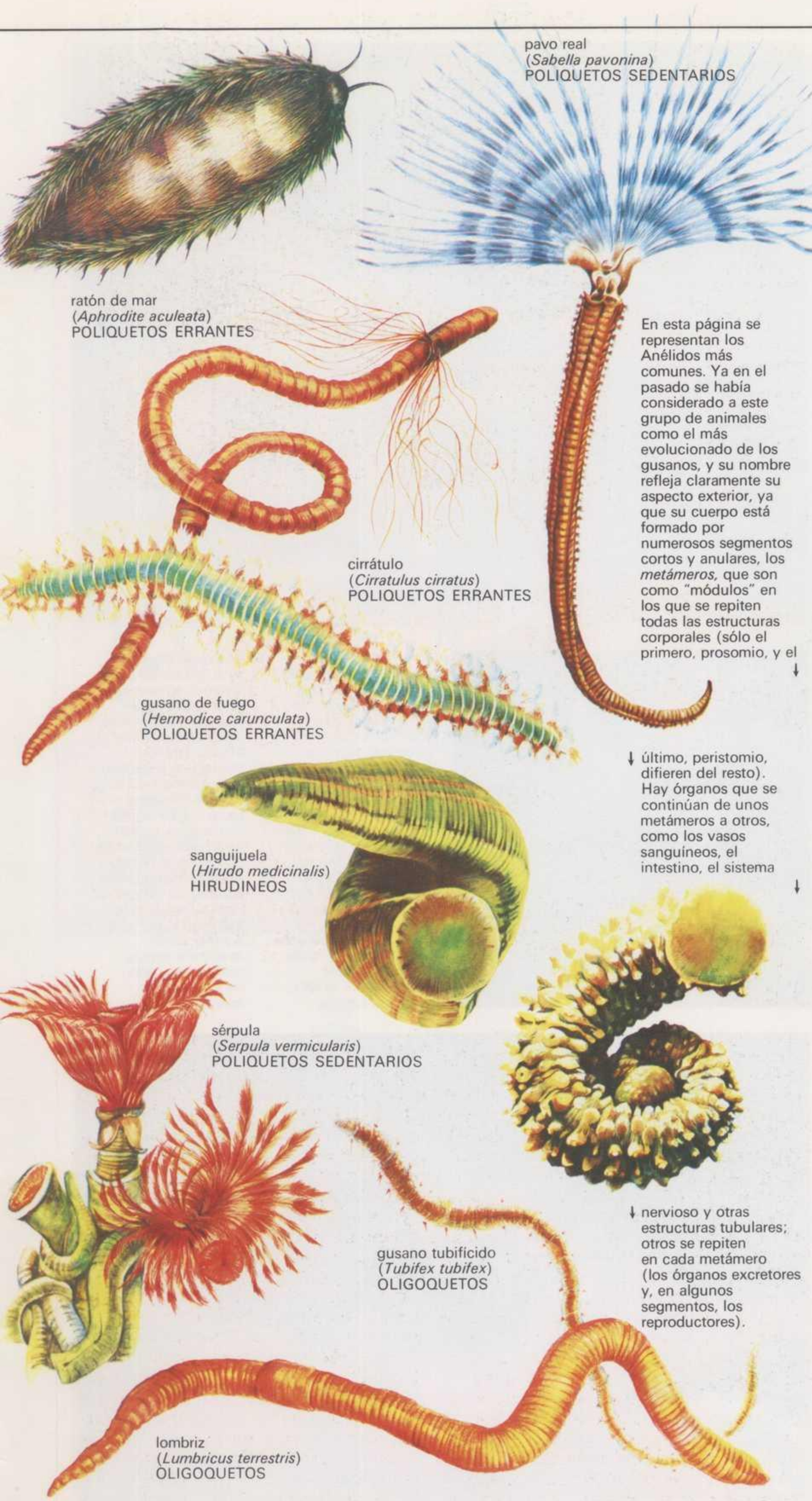
Oligoquetos Existen por lo menos 3.000 especies y subespecies de gusanos terrestres; la mayoría vive en lugares húmedos, como el suelo o el fondo de estanques y lagos, en donde se pueden encon-

trar más de 40.000 por cada metro cuadrado de fango. Si bien sus dimensiones pueden variar de unos milímetros a dos metros (en algunas formas tropicales), todos ellos tienen el típico aspecto de "gusano". Generalmente tienen el cuerpo liso y alargado, muy uniforme, con una segmentación regular y bien marcada. Los que excavan galerías tienen la cabeza afilada para facilitar su penetración en la tierra.

Los gusanos terrestres (que generalmente se conocen como "lombrices") se alimentan de la materia orgánica que encuentran tanto en la superficie como en el subsuelo. Las largas galerías que practican facilitan el drenaje y, además, en ellas se mezclan los materiales de los distintos horizontes del suelo, aumentando su fertilidad. Una hectárea de suelo puede contener una tonelada de lombrices; pero si el suelo está abonado, dicha cantidad puede multiplicarse por 25. El trabajo que realizan estos gusanos es muy importante,

arrastrando los restos vegetales por las galerías y depositando en la superficie sus excrementos, formados por materia orgánica finamente desmenuzada.

Una de las cosas que más llama la atención de las lombrices es su forma de reproducirse. Son hermafroditas, o sea, que poseen órganos sexuales masculinos y femeninos. El apareamiento tiene lugar en la superficie del suelo, generalmente de noche y con tiempo húmedo. La pareja de lombrices se aparea colocando sus cuerpos pegados en direcciones opuestas; una franja de tejido llamada *clitelo*, situada a dos tercios del cuerpo del animal, segrega un moco que forma un cinturón mediante el cual permanecen unidos los dos animales de manera que puede pasar el esperma de uno a otro. El apareamiento dura varias horas y termina con la fecundación de los dos animales. La puesta tiene lugar al cabo de varios días; los huevos están protegidos por un capullo del



pavo real
(*Sabella pavonina*)
POLIQUETOS SEDENTARIOS

ratón de mar
(*Aphrodite aculeata*)
POLIQUETOS ERRANTES

cirrátulo
(*Cirratulus cirratus*)
POLIQUETOS ERRANTES

gusano de fuego
(*Hermodice carunculata*)
POLIQUETOS ERRANTES

sanguijuela
(*Hirudo medicinalis*)
HIRUDINEOS

sérpula
(*Serpula vermicularis*)
POLIQUETOS SEDENTARIOS

gusano tubificado
(*Tubifex tubifex*)
OLIGOQUETOS

lombriz
(*Lumbricus terrestris*)
OLIGOQUETOS

En esta página se representan los Anélidos más comunes. Ya en el pasado se había considerado a este grupo de animales como el más evolucionado de los gusanos, y su nombre refleja claramente su aspecto exterior, ya que su cuerpo está formado por numerosos segmentos cortos y anulares, los *metámeros*, que son como "módulos" en los que se repiten todas las estructuras corporales (sólo el primero, prosomio, y el

último, peristomio, difieren del resto). Hay órganos que se continúan de unos metámeros a otros, como los vasos sanguíneos, el intestino, el sistema

nervioso y otras estructuras tubulares; otros se repiten en cada metámero (los órganos excretores y, en algunos segmentos, los reproductores).

que nacen pequeñas lombrices que son minúsculas copias de sus progenitores.

Poliquetos La mayoría de los Poliquetos son marinos, y abundan sobre todo en la zona de marea de las playas rocosas o arenosas. Pueden arrastrarse, nadar o meterse de cabeza en la arena. Cuando nadan, estos gusanos se desplazan con un movimiento sinuoso y se ayudan de los *parápodos*, formaciones epidérmicas en forma de remo en número de dos por segmento. La región de la cabeza está bien desarrollada y en ella se distinguen los ojos, las antenas y una trompa evaginable provista de mandíbulas, que les sirven para capturar a sus presas.

Otros muchos Poliquetos se han adaptado a la vida en agujeros o en tubos segregados por ellos. El gusano Arenícola o lombriz de cebo, cuyas deyecciones forman montoncitos en las playas cuando la marea está baja, es un ejemplar muy común; vive en una madriguera en forma de "U" y se alimenta laboriosamente, tamizando kilos y kilos de fango y arena para extraer los restos orgánicos. Mucho más espectaculares son los gusanos del género *Sabella*, que en algunos sitios reciben el nombre de "pavo real". Cuando se alimentan, parecen palmeras en miniatura, con unos tentáculos de vivos colores que salen de un largo tubo. A primera vista parecen inmóviles, pero si se los observa con atención con una lupa se pueden distinguir gran cantidad de cilios capilares que impulsan el agua hacia los tentáculos extendidos. De esta forma, las plantas y los animales microscópicos y los pequeños fragmentos de detritos flotantes se adhieren a la sustancia pegajosa de los tentáculos. Luego el alimento, dentro de una gota de esa sustancia, desciende por unos surcos hasta la boca del animal.

El comportamiento sexual de los Poliquetos es muy variado. Hay especies que forman sencillamente unas yemas a partir de las cuales se desarrollan asexualmente los nuevos individuos. Uno de los métodos más frecuentes de reproducción asexual es la escisión longitudinal del cuerpo: cuando el animal llega a la madurez, forma, a la altura de un segmento de la parte central de su cuerpo, una nueva cabeza, y a partir de ahí se van separando las dos mitades hasta que se forman dos individuos, uno con la cabeza antigua y otro con la nueva. En las lombrices se puede dar también, accidentalmente, un tipo de reproducción similar, si el animal recibe un corte; en ese caso ambas mitades desarrollan las partes que faltan y se convierten en dos individuos distintos. Se suele recurrir a la reproducción asexual cuando escasean los recursos alimenticios.

En cuanto a la reproducción sexual, los gusanos marinos se distinguen de los terrestres en que generalmente los sexos están separados. Las hembras dispersan los huevos en el agua del mar, y allí son fertilizados por los espermatozoides de los machos. Para asegurar la fecundación,

los gusanos marinos se reúnen a menudo en grandes bancos. Los que pasan la mayor parte del tiempo arrastrándose por el fondo experimentan un cambio espectacular al llegar la época del apareamiento: se transforman en auténticos nadadores, y suben a la superficie en gran cantidad. Muchos de ellos son bioluminiscentes y hacen brillar el agua del mar con infinidad de puntos luminosos.

Hay un gusano del Pacífico Sur (*Euricis viridis*) que tiene una reproducción todavía más espectacular. En su caso lo que sube a la superficie es sólo la parte posterior reproductora, cargada de huevos o espermatozoides. La época de la reproducción está ligada a las fases lunares. Se pueden formar enjambres de miles de segmentos de este tipo, que suben a la superficie retorciéndose y enroscándose unos en otros, hasta que sueltan todas sus células sexuales. Para los indígenas de Samoa constituyen una pesca excepcional, ya que les consideran un bocado exquisito.

Al filum de los Anélidos pertenecen también las sanguijuelas, (clase Hirudíneos), gusanos chupadores de sangre. Las sanguijuelas están bien adaptadas a este modo de vida, ya que poseen una ventosa



D. P. Wilson



R. Maltini y P. Solaini



L. Coccia

En esta página podemos ver algunos de los Anélidos más típicos: arriba (sobre estas líneas), una colonia de *Sabellaria alveolata*; en el centro (la imagen más a la izquierda), la vistosa corona branquial de un sabélido en la que se advierten las manchas oscuras que forman círculos concéntricos; junto a estas líneas, varios ejemplares del género *Hydroides*, que viven en tubos generalmente doblados en forma de "U" o de "V" con ángulos marcados; en la foto de abajo, corona

branquial blanca y rosa de una *Serpula*, flotando suavemente entre esponjas y piedras. Todos estos ejemplares pertenecen al grupo de los Poliquetos sedentarios, que viven en el fondo del mar fijándose a las rocas y a los objetos sumergidos, o bien excavando galerías en la arena o el fango, o también escondiendo parte de su cuerpo en unos tubos de moco segregados por ellos. A pesar de su apariencia simple, todos estos seres están muy bien adaptados.

sa anterior y otra posterior para la locomoción y fijación, y mandíbulas quitinosas para practicar incisiones en la piel que favorezcan el flujo de la sangre de sus víctimas. El cuerpo está dividido en anillos, pero carecen de sedas y poseen órganos copuladores y aberturas genitales en la zona ventral media, que los otros anélidos no tienen.

Otros gusanos Además de los Anélidos o gusanos segmentados, existen otros animales con forma de gusanos, conocidos como "gusanos planos", "gusanos cilíndricos" y "gusanos de cinta".

Los llamados "gusanos planos" pertenecen al filum de los Platyhelminthes, que consta de varias clases: Turbellarios, Tremátodos y Cestodos. Los *Turbellarios* son animales en forma de zapatilla, de cuerpo blando y aplastado, recubierto por una epidermis ciliada. Los más conocidos son las planarias, muy frecuentes en las aguas dulces. Estos animales se deslizan sobre



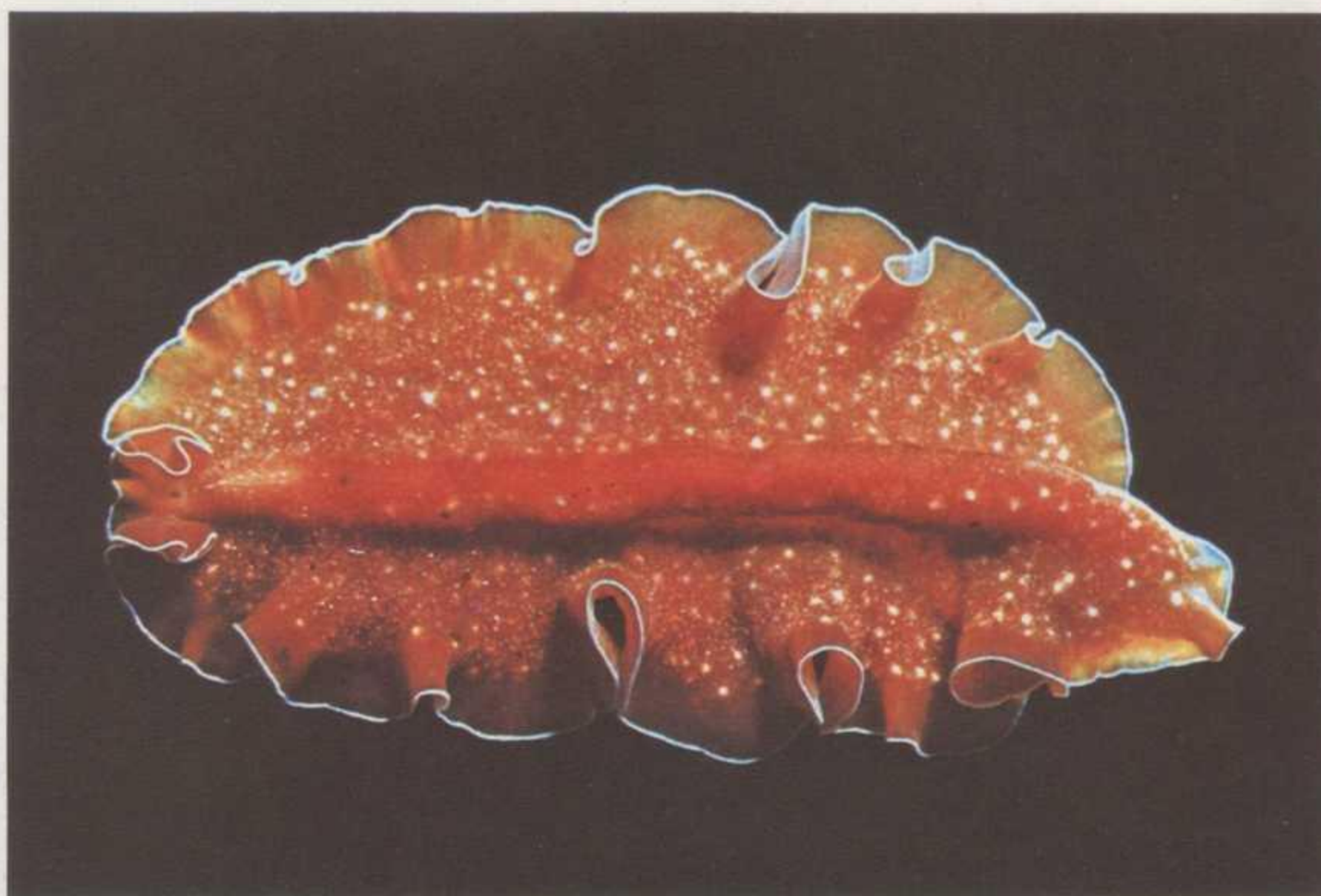
R. Maltini y P. Solaini

una senda de baba que segregan sus glándulas adhesivas marginales, ayudándose con los cilios epidérmicos. Las otras dos clases de Platelminfos son parásitas. Los *Tremátodos* son parásitos generalmente de vertebrados. Suelen tener forma de hoja y carecen de cilios en estado adulto. Para adaptarse a la vida parásita pierden la epidermis y desarrollan órganos adhesivos especiales para pegarse a su huésped, como ganchos o ventosas. Algunos son ectoparásitos y viven sobre las agallas, sobre la piel, o en cavidades abiertas al exterior de peces, anfibios, reptiles y, rara vez, mamíferos. Otros en cambio son endoparásitos, como los Tremátodos del hígado humano o de la sangre (*Schistosoma*).

Las famosas tenias o solitarias constituyen la tercera clase de los Platelminfos, los *Cestodos*. Difieren de las otras dos clases en que suelen estar formadas por muchos segmentos o proglotis, con una cabeza o escólex muy especializada provista de ventosas o ganchos según las especies. La solitaria que más afecta al hombre es la *Taenia solium* o solitaria porcina, llamada así por ser el cerdo el huésped intermediario de las larvas; el adulto vive en el intestino humano, del que chupa el alimento digerido. Prácticamente todo el cuerpo de la solitaria tiene una función reproductora.

Otro grupo de gusanos son los *Asquelminfos*, conocidos como "gusanos cilíndricos". De ellos, una clase, los *Nemátodos*, constituye uno de los grupos de animales más numerosos. Se encuentran tanto en aguas dulces como saladas, y también en la tierra. Algunos son parásitos, pero la mayoría vive libremente; muchos viven en los tejidos de las plantas, a las que causan considerables daños, como la *Heterodera schachtii*, que arrasa los cultivos de cebollas y remolachas. En los países tropicales y subtropicales, un Nemátodo (*Wuchereria bancrofti*) es el causante de la "elefantiasis", enfermedad que produce una enorme hinchazón de las partes afectadas. Este Nemátodo tiene como huésped intermediario a una determinada especie de mosquito, que transporta la larva. Otro Nemátodo perjudicial para el hombre es la triquina (*Trichinella spiralis*), responsable de la enfermedad del cerdo conocida como triquinosis, la cual puede llegar a ser mortal para el hombre.

Por último, los *Nemertinos* o "gusanos de cinta" deben su nombre a un largo tubo muscular que proyectan hacia afuera para apoderarse de sus presas, y que se supone que no falla nunca su objetivo (del griego *nemertes*, "infalible"). Son especies marinas en su mayoría, y, al contrario que los Platelminfos, muy pocas son parásitas. Algunas tienen menos de 2,5 cm de largo, mientras que otras superan el metro, como la *Lineus longissima*, del Mar del Norte.



Aquí arriba, un "gusano" platelminto con su típico cuerpo aplanado, en el que se

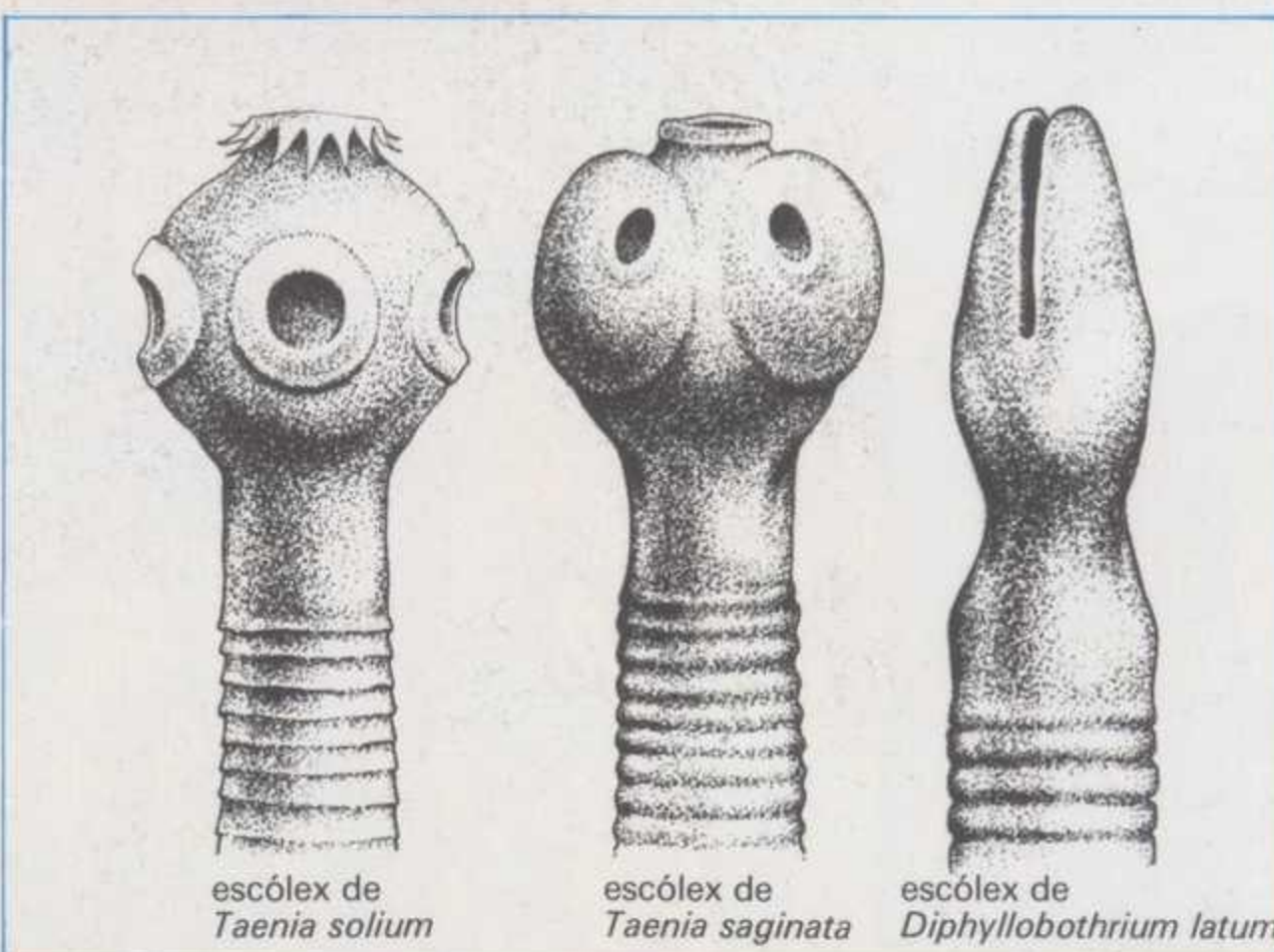
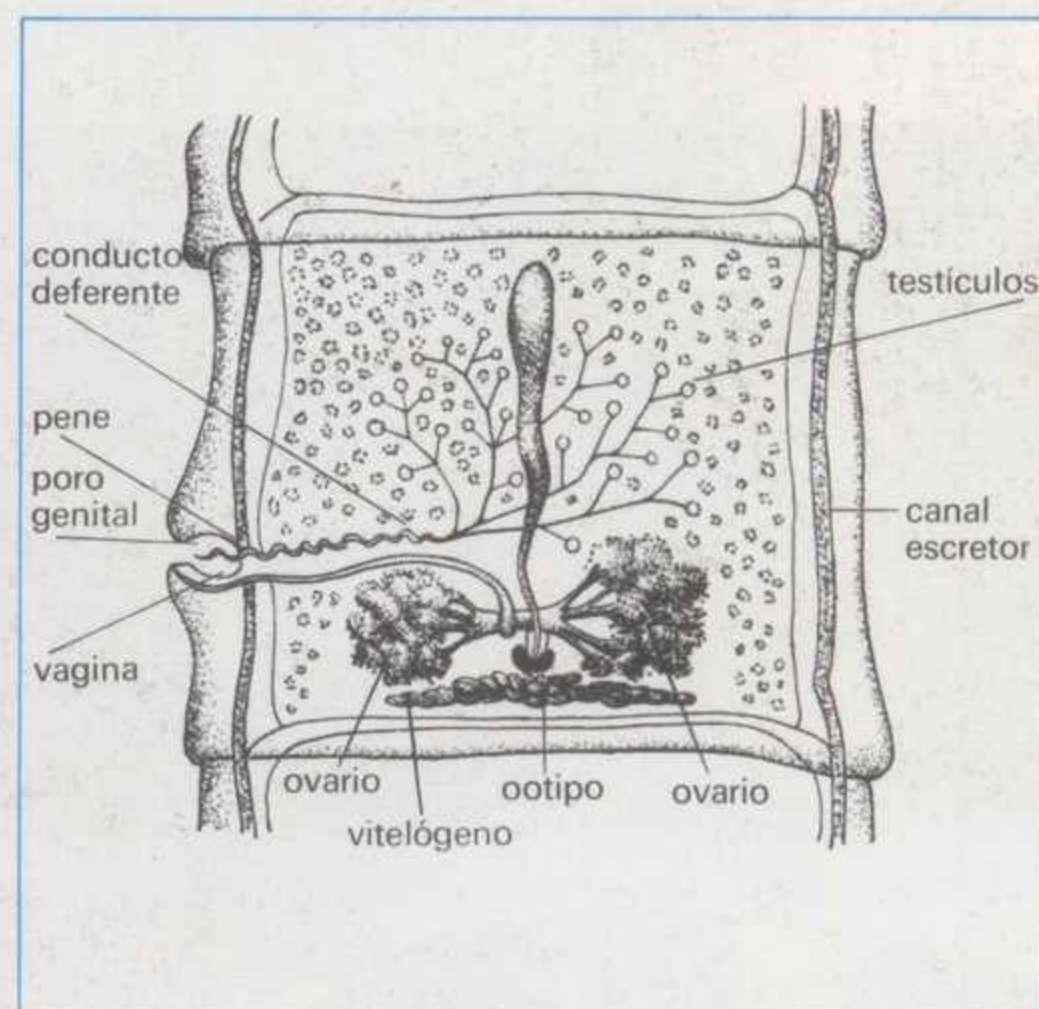
puede distinguir una cara dorsal y una ventral; la parte derecha y la izquierda

son simétricas, y se pueden identificar los extremos anterior y posterior. Estos

pequeños seres vivos carecen de aparato circulatorio y de celoma.



Bracchi



escólex de *Taenia solium*

escólex de *Taenia saginata*

escólex de *Diphylobothrium latum*

Arriba, en la foto, una proglotis de *Taenia solium*, o solitaria, vista al microscopio, en la que destacan claramente las ramificaciones uterinas, largas y enmarañadas; en el esquema aparece una proglotis de *Taenia solium* con todas sus estructuras. Aquí, a la izquierda, varios tipos de escólex, que es la extremidad anterior de las tenias, diminuta y abultada, provista de ganchos o ventosas en algunas especies. Los caracteres morfológicos del escólex tienen mucha importancia a la hora de clasificar las tenias.

Gusto, sentido del

Cuando se encuentran aún en el estado larvario, las mariposas de la especie *Danaus plexippus* se alimentan de algunas plantas que contienen ciertos tóxicos repelentes, a los cuales ellas son inmunes, a diferencia de otros insectos y otros animales. Tales mariposas ingieren y conservan los compuestos tóxicos contenidos en estas plantas con el fin de utilizarlos como mecanismo de defensa contra los depredadores. En efecto, estas sustancias (*cianuros*) producen un sabor repugnante y provocan en el ave que se alimenta de estas mariposas una sensación de malestar y vómitos.

De esta manera, es posible que un ave que haya ingerido una *Danaus plexippus* no tenga ya ningún deseo de volver a ingerir otra, estableciendo una correcta asociación entre la alimentación con tales mariposas y la consecuente sensación de malestar y producción de vómitos. Los brillantes colores que exhiben las mariposas de esta especie sirven como medio de identificación rápida y precisa para las aves. Dado que este sistema de defensa es extremadamente eficaz, es comprensible que otras mariposas sean capaces de sobrevivir más fácilmente si sus colores son parecidos a los de la *Danaus plexippus*.

La mariposa *Basilarchia archippu*, a través de un típico proceso de selección natural, ha llegado a imitar los colores de la *Danaus plexippus* de una manera casi perfecta, si bien no comparte con ésta la misma afinidad por las plantas venenosas. De este modo, hasta el momento en que las aves no sean capaces de romper la asociación que han establecido entre esos colores determinados y el sabor desagradable, tales mariposas podrán gozar de la protección que les proporciona su particular aspecto.

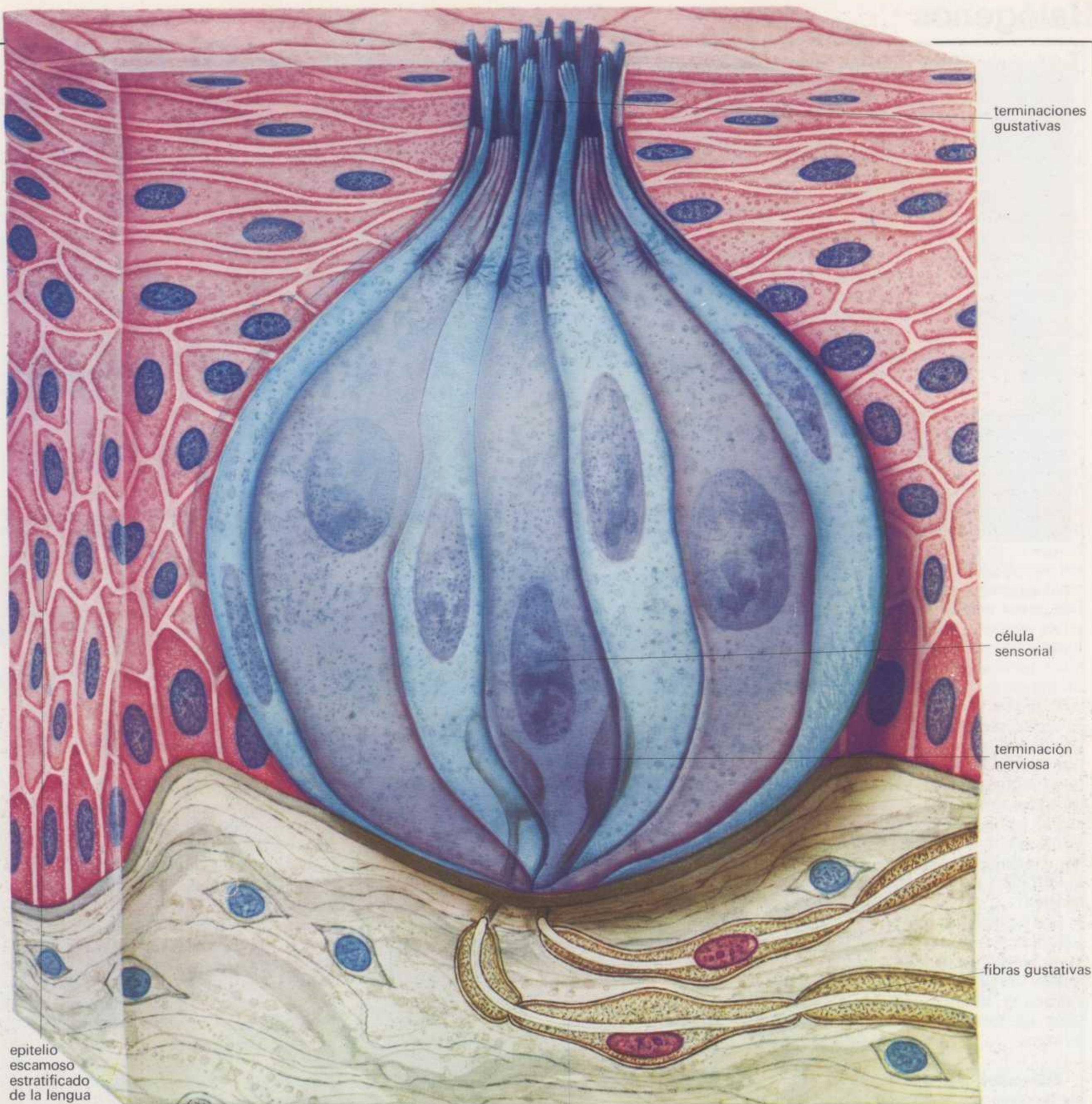
Cómo funciona el gusto A diferencia de otros sentidos, el gusto y el olfato funcionan químicamente, esto es, reaccionan a los estímulos que les proporcionan ciertas moléculas. El sentido del gusto permite en el hombre la discriminación cuantitativa y cualitativa de cuatro modalidades sensoriales: dulce, salado, ácido y amargo. Tales sabores se transmiten por distintos compuestos químicos a diferentes concentraciones. Estos compuestos son recogidos por las células receptoras del sabor localizadas en las papilas gustativas, estructuras globulosas situadas principalmente en la superficie de la lengua. Los seres humanos poseen unas 9.000 papilas gustativas.

Parece que la sensibilidad para los cuatro sabores principales se distribuye regularmente a lo largo de la superficie lingual: la parte anterior resulta más sensible al sabor dulce; la parte posterior, al amargo; y las zonas laterales, al salado y al ácido. En cualquier caso, las células receptoras, después de haber percibido el sabor de los alimentos, envían los mensajes al *centro receptor de los sabores*, que se encuentra en el cerebro. Los mensajes procedentes de la parte anterior de la lengua viajan a través del nervio lingual y llegan a la *cuerda del tímpano*. Los dos tercios posteriores de la lengua están unidos a los centros nerviosos encefálicos a través del *nervio glossofaríngeo*. Los dos nervios se encuentran en la base del cerebro y hacen proseguir desde allí el mensaje. Este mensaje depende de la sustancia química percibida.

Los distintos tipos de sabores Como ya se ha mencionado, los distintos tipos de sabores que pueden ser percibidos tienen su origen en la recepción de algunas sustancias por parte de las células gustativas:

Acido. Este sabor se asocia a los iones hidrógeno que se liberan en la disociación de los ácidos y aumenta con la concentración de dicho ion, y probablemente tam-





Las sensaciones gustativas son posibles gracias a la existencia de unas formaciones especializadas periféricas capaces de traducir un estímulo químico en un impulso nervioso, y gracias también a la presencia de vías de comunicación con el encéfalo. La ilustración de la página anterior

esquematiza cómo percibe la lengua los distintos sabores, en particular cómo tiene lugar la percepción del sabor dulce. Sobre estas líneas, esquema de un cáliz gustativo (los diferentes colores ponen de manifiesto las zonas preferentes de sensibilidad de la lengua).

bién en relación con la parte restante de la molécula.

Salado. Este sabor depende fundamentalmente de los iones positivos de las sustancias salinas como el Na^+ (sodio) y el K^+ (potasio), y también, aunque en un grado

menor, de los iones negativos, como el Cl^- (cloro). El NaCl (cloruro de sodio) es la sal común de la cocina.

Amargo. El sabor amargo pertenece a una categoría de sabores más compleja; la sensación amarga está provocada por algunas sustancias como los alcaloides (por ejemplo, la cafeína y la estricnina) y las sales biliares. Muchos venenos son alcaloides y como tales poseen un sabor amargo.

Dulce. Se trata de un tipo de sabor extraordinariamente complejo; tal vez el más complicado que se asocia a compuestos orgánicos, entre los que se encuentran los azúcares y los aminoácidos, y a compuestos inorgánicos, entre los que podemos citar las sales de plomo y de berilio. Los se-

res humanos son sensibles a los edulcorantes sintéticos, como la sacarina, que es 600 veces más dulce que la sacarosa, el azúcar común de cocina. Algunos científicos han postulado que todas las sustancias dulces contienen un factor común denominado "aceptor de protones".

A causa de su naturaleza química, el gusto es probablemente el sentido más fácil de estudiar. En el futuro, los investigadores, basándose en la facilidad de determinar la presencia de sustancias químicas, podrán poner de manifiesto muchos aspectos hasta ahora desconocidos de las funciones cerebrales e incluso del sistema nervioso.

Véase **Cuerpo humano; Nervioso, sistema**

Halógenos

Los halógenos constituyen una importante familia de elementos químicos no-metales pertenecientes al 7º grupo A del sistema periódico (se entiende por *familia* un grupo de elementos que tienen propiedades y comportamiento químicos afines).

El término *halógeno* es de origen griego, y significa "generador de sal". El hecho de estar entre los elementos más activos desde el punto de vista químico es lo que caracteriza principalmente a los halógenos.

Pertenecen al grupo de los halógenos los cinco elementos siguientes: el flúor, el cloro, el bromo, el yodo y el astato (que es radiactivo).

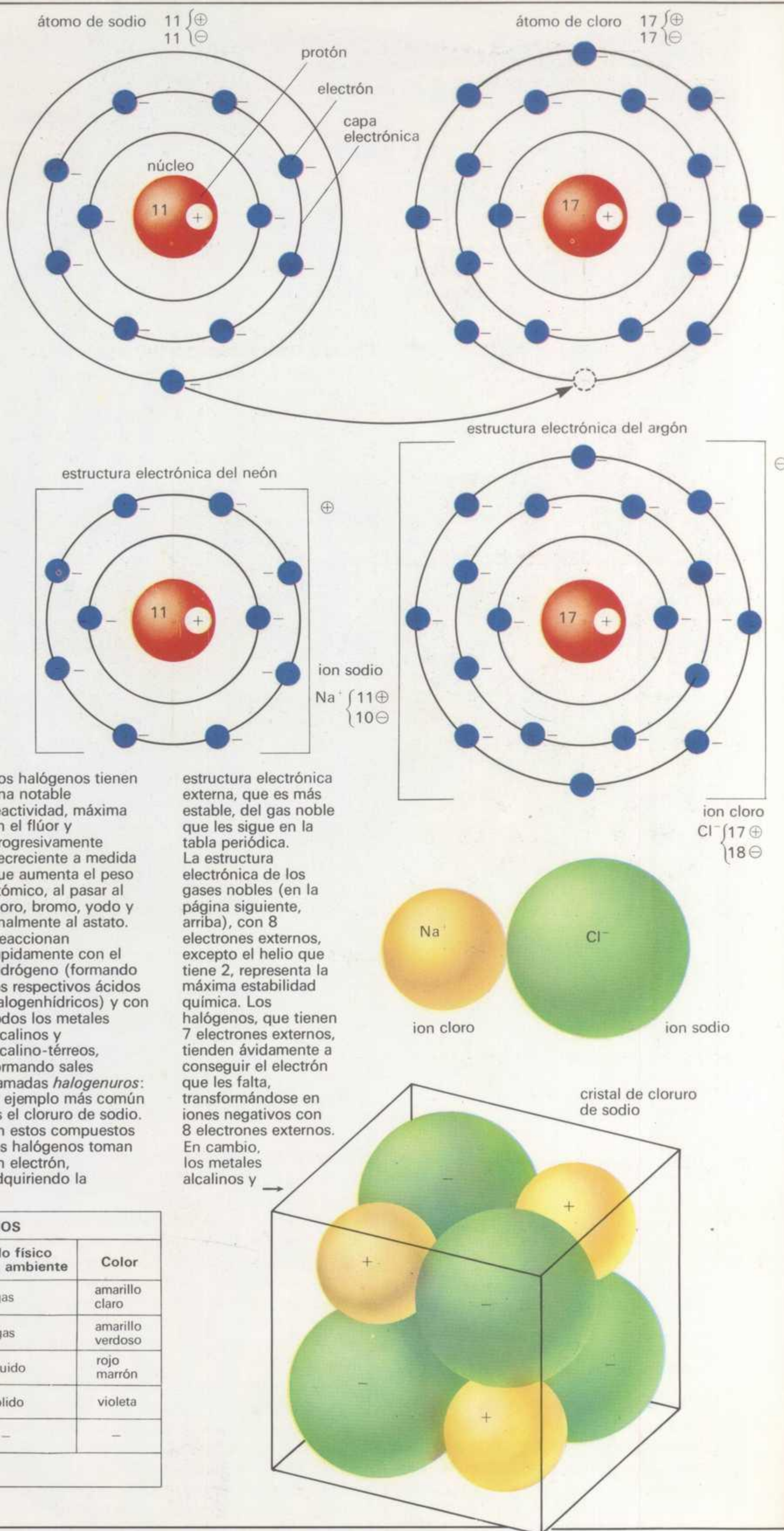
Cómo reaccionan los elementos Las propiedades químicas de un elemento están determinadas por su estructura electrónica, ya que los electrones en los átomos están acoplados en estratos llamados *niveles electrónicos*. Si el último nivel electrónico de un átomo está completamente ocupado, se dice que el átomo tiene un *nivel electrónico completo* y el elemento es estable desde el punto de vista químico. Los gases nobles, que tienen el nivel exterior ocupado completamente por 8 electrones, tienen la máxima estabilidad química: generalmente los elementos tienden, en mayor o menor medida, a alcanzar en sus uniones recíprocas la misma estructura electrónica externa de los gases nobles, perdiendo o adquiriendo electrones. En otras palabras: si el nivel no está completo, el átomo puede unirse a otro, cediendo o tomando uno o más electrones hasta lograr una estructura electrónica completa. Cuanto menor es el número de electrones necesarios para completar el nivel electrónico, mayor es la actividad del elemento.

Los halógenos, que tienen 7 electrones externos, necesitan un solo electrón para completar el nivel: este electrón lo conseguirán preferentemente de los metales alcalinos y alcalino-térreos, uniéndose a ellos en forma de sales llamadas *halogenuros*.

Elementos pertenecientes al grupo de los halógenos Desde un punto de vista puramente físico, se puede decir que no existe casi ningún parecido entre los elementos de este grupo. Respecto al color,

Los halógenos tienen una notable reactividad, máxima en el flúor y progresivamente decreciente a medida que aumenta el peso atómico, al pasar al cloro, bromo, yodo y finalmente al astato. Reaccionan rápidamente con el hidrógeno (formando los respectivos ácidos halohidróxicos) y con todos los metales alcalinos y alcalino-térreos, formando sales llamadas *halogenuros*: el ejemplo más común es el cloruro de sodio. En estos compuestos los halógenos toman un electrón, adquiriendo la

estructura electrónica externa, que es más estable, del gas noble que les sigue en la tabla periódica. La estructura electrónica de los gases nobles (en la página siguiente, arriba), con 8 electrones externos, excepto el helio que tiene 2, representa la máxima estabilidad química. Los halógenos, que tienen 7 electrones externos, tienden ávidamente a conseguir el electrón que les falta, transformándose en iones negativos con 8 electrones externos. En cambio, los metales alcalinos y



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS HALÓGENOS

Elemento	Símbolo	N.º atómico	Masa atómica	Estado físico a temp. ambiente	Color
FLUOR	F ₂	9	18,9984	gas	amarillo claro
COLORO	Cl ₂	17	35,453	gas	amarillo verdoso
BROMO	Br ₂	35	79,909	líquido	rojo marrón
YODO	I ₂	53	126,9044	sólido	violeta
ASTATO*	At	85	210	—	—

* Elemento radiactivo

ESTRUCTURA ELECTRONICA EXTERNA DE LOS METALES ALCALINOS Y ALCALINO-TERREOS Y DE LOS HALOGENOS FRENTE A LA DE LOS GASES NOBLES

metales alcalinos		metales alcalino-térreos	
3 litio Li		4 berilio Be	
11 sodio Na		12 magnesio Mg	
19 potasio K		20 calcio Ca	
37 rubidio Rb		38 estroncio Sr	

PRINCIPALES HALOGENUROS ALCALINOS Y ALCALINO-TERREOS

fluoruro de: litio LiF
potasio KF
berilio BeF₂
calcio CaF₂

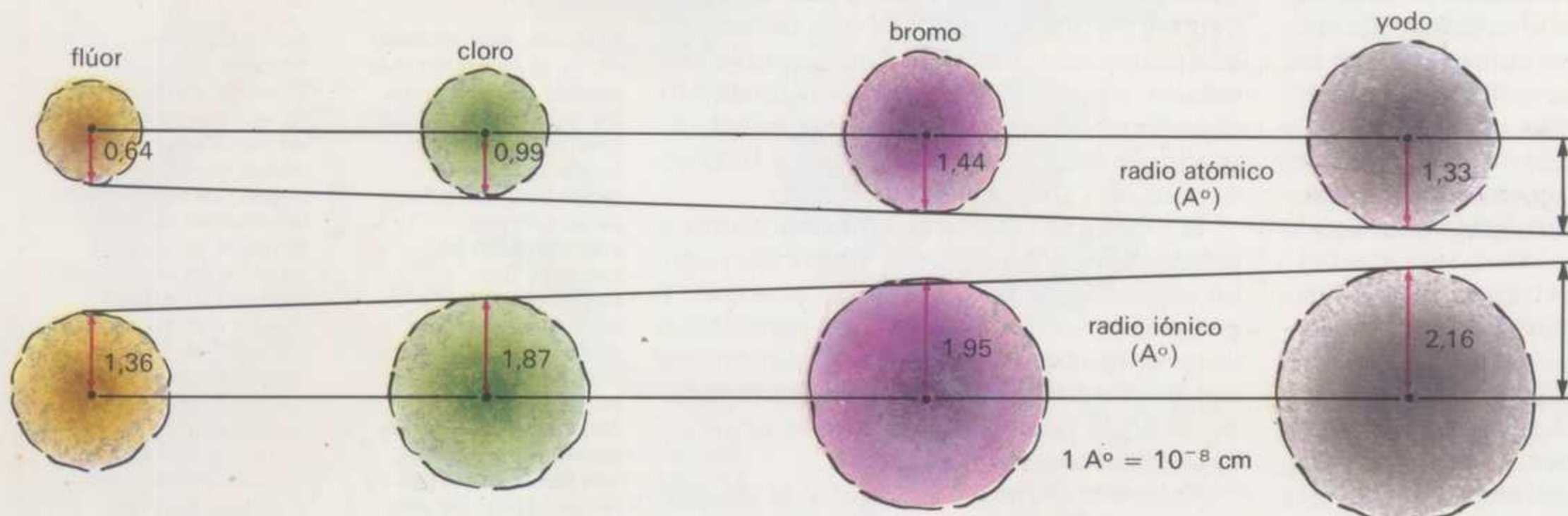
cloruro de: sodio NaCl
potasio KCl
rubidio RbCl
magnesio MgCl₂
calcio CaCl₂
estroncio SrCl₂

bromuro de: potasio KBr

yoduro de: potasio KI

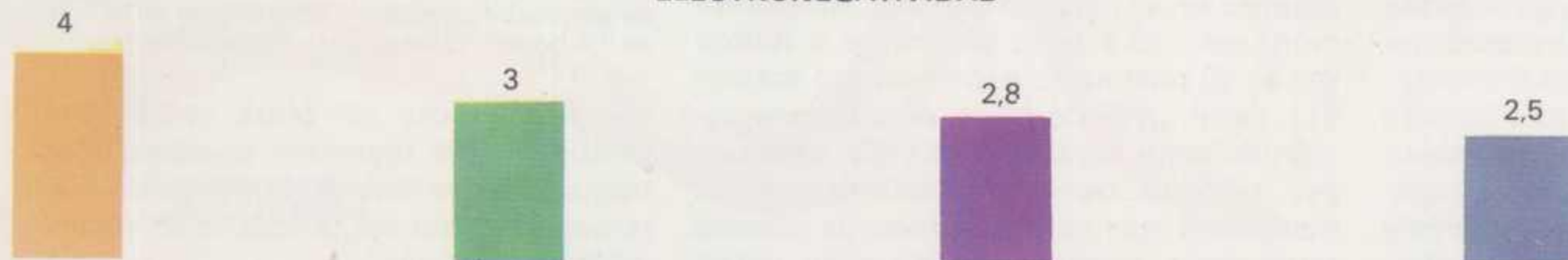
gases nobles	
2 helio He	
10 neón Ne	
18 argón Ar	
36 criptón Kr	
54 xenón Xe	

DIMENSIONES ATOMICAS E IONICAS

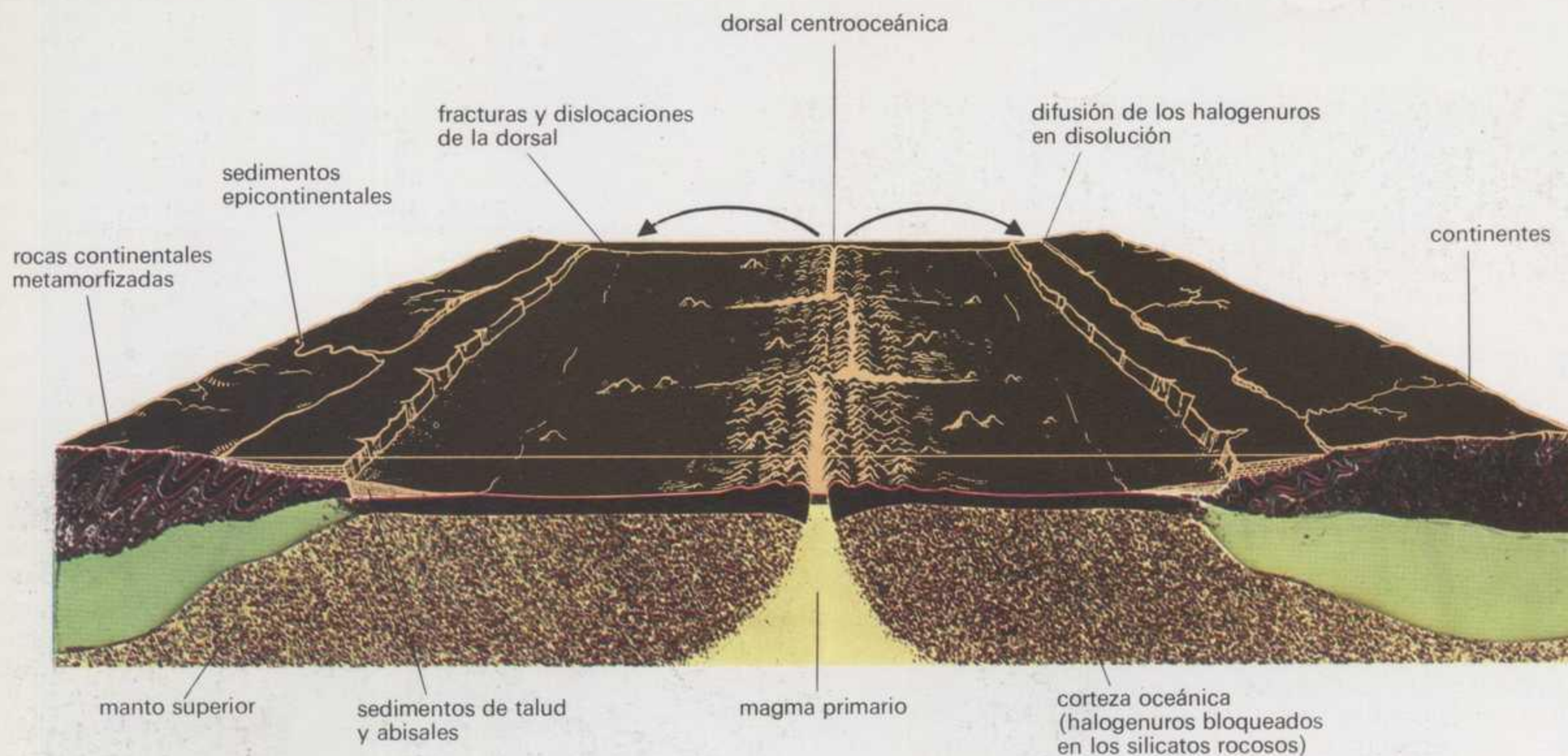


→ alcalino-térreos, que tienen respectivamente 1 y 2 electrones más que los gases nobles, están dispuestos a cederlos convirtiéndose en iones positivos (esquema de arriba). Por este motivo es fácil que reaccionen halógenos y metales por medio de enlaces de tipo iónico. Al lado, las dimensiones de los átomos neutros y los iones negativos de los halógenos aumentan la medida que aumenta el número atómico, mientras que los valores correspondientes de la electronegatividad, que mide de alguna forma la "fuerza" que ejerce el núcleo sobre los electrones, varía de forma inversa.

ELECTRONEGATIVIDAD



CICLO GEOQUIMICO DE LOS HALOGENUROS



Los halógenos entran en el ciclo geoquímico de la litosfera con el magma primario que surge del manto terrestre. Como se ve en la figura, el magma puede surgir en las zonas de las dorsales centrooceánicas, desde donde después se difunde en los fondos; también puede ascender y quedarse entremezclado con las rocas superficiales, y desde ahí difundirse con las erupciones o enfriarse formando cuerpos rocosos. Los halógenos, que se encuentran en el magma en forma

de iones, se pueden liberar en forma atómica (en las erupciones volcánicas, como por ejemplo el cloro) o bien quedarse atrapados dentro de la estructura cristalina de los silicatos que componen la corteza terrestre. Sin embargo, los halógenos libres, debido a su elevada reactividad, encuentran en seguida la forma de reaccionar, formando sales que, por ser muy solubles, llegan al mar en forma de disolución a través de las aguas superficiales. Los halógenos introducidos

en las rocas se liberan de las uniones establecidas con los silicatos a medida que esas mismas rocas se erosionan y degradan, pasando a ser sales solubles que también acaban siendo arrastradas hacia las aguas marinas. Pero cuando por motivos geológicos quedan brazos de mar aislados y se secan por evaporación, las sales de halógenos pueden precipitar formando yacimientos de evaporación, desiertos salados y formaciones salinas.

éstos varían desde el amarillo pálido al negro violáceo; y en relación al estado, dos de ellos son *sólidos* (yodo y astato), uno *líquido* (bromo) y dos *gases* (flúor y cloro).

El **flúor**, primero de la columna, es un gas amarillo pálido, venenoso y corrosivo. Es el halógeno menos denso, el más abundante en la corteza terrestre y es el no-metal más activo desde el punto de vista químico, reaccionando con casi todos los compuestos orgánicos e inorgánicos, incluidos los gases inertes criptón, xenón y radón. Es conocido sobre todo por su actividad en los fluoruros, compuestos añadidos a la pasta dentífrica para prevenir la caries dental.

El **cloro** es un gas amarillo verdoso, también venenoso y corrosivo, más denso que el flúor, y es el segundo no-metal más activo desde el punto de vista químico. Fue el primer halógeno que se consiguió aislar. El cloro es una sustancia química importante desde el punto de vista industrial, sobre todo como agente blanqueador; también es conocido como desinfectante en las casas y piscinas. Unido al sodio —en el cloruro de sodio— forma la sal común, que es el soluto más abundante en el agua de mar.

El **bromo** es un líquido rojo oscuro acercándose a marrón, y junto con el mercurio son los dos únicos elementos líquidos a temperatura ambiente. Su nombre deriva de la palabra griega que significa

"hedor", ya que emana un vapor marrón rojizo de olor nauseabundo. El bromo se utiliza en algunos aditivos de la gasolina y en muchos tintes y medicamentos. Está presente en el agua de mar en forma de sales y es el elemento que hace que muchas algas marinas sean de color marrón.

El **yodo** forma a temperatura ambiente unos cristales de un color entre gris brillante y negro violáceo. Es uno de los pocos elementos que pasa directamente del estado sólido al gaseoso (sublimación) cuando se calienta, sin pasar por estado líquido, formando un vapor violeta intenso con un olor picante característico.

El yodo es importante sobre todo como antiséptico; se utiliza en la tintura de yodo, en algunos colorantes y medicamentos, y es un elemento necesario —en cantidades muy pequeñas— en la dieta alimenticia del hombre. Además, está presente tanto en el agua de mar como en los organismos marinos y en las plantas.

El **astato**, último del grupo y el de mayor masa atómica, es radiactivo. Todos sus isótopos (átomos del mismo elemento que, poseyendo el mismo número atómico, difieren en el número másico), sin excepción, son radiactivos en mayor o menor grado. El más estable, de número másico 211, tiene un período de semidesintegración de siete horas y media. (Se entiende por período de semidesintegración el tiempo en que cierto número de átomos radiactivos queda reducido a su mitad,



El astato, con símbolo At, es el elemento más pesado del grupo de los halógenos y es tan inestable que sólo existe en forma radiactiva. La fecha de su primera identificación es reciente: fue descubierto en 1940 en Estados Unidos, entre los productos de reacción obtenidos al bombardear en un ciclotrón bismuto con partículas alfa (que son núcleos del gas noble helio). De esta forma se obtuvo el isótopo de número másico 211 (^{211}At), que tiene un período de semidesintegración de 7,5 horas y puede

aplicarse como trazador radiactivo. El astato está presente en la Naturaleza, aunque en cantidades ínfimas, en los minerales de uranio: se calcula que la cantidad de astato presente en toda la litosfera en un espesor de 2 km no supera alguna decena de miligramos. En el aspecto químico, el astato tiene parecido con el yodo; así, se ha podido observar —particularmente en diversos tipos de experimentos llevados a cabo en animales— que el astato, al igual que el yodo, se fija fácilmente en la glándula tiroides.

transformándose en otros, radiactivos o estables.) Este elemento, el astato, es extremadamente raro en la Naturaleza, apareciendo como subproducto en distintas series radiactivas.



Bighini/archivo Fabbri-Deutsches Museum, Mónaco

El yodo como elemento (puede observarse en la ilustración de la izquierda) se presenta como un sólido formado por laminillas negras y brillantes de aspecto metálico, que calentado sublima en vapores de color violeta. Disuelto en solución hidroalcohólica que contenga yoduro de potasio, produce un preparado conocido por su eficacia como desinfectante: la tintura de yodo.

El flúor, uno de los elementos más reactivos, encuentra notables aplicaciones industriales en la preparación de polímeros fluorados. El más importante es el *teflón* (politetrafluoretileno), material que tiene una elevada resistencia mecánica y química, usado para fabricar una gran variedad de manufacturas, entre ellas piezas de órganos artificiales; abajo se pueden ver algunos ejemplos.

Compuestos de los halógenos Dado que los halógenos son tan activos químicamente, nunca se encuentran en estado puro en la Naturaleza. Forman muchos compuestos que normalmente se denominan *halogenuros*, siendo dos de ellos, el fluoruro de calcio y el cloruro de sodio, las materias primas para la obtención del flúor y del cloro respectivamente. Cuando los halógenos reaccionan con el hidrógeno, por ejemplo, se produce un halogenuro de hidrógeno, siendo el más común el cloruro de hidrógeno (o ácido clorhídrico cuando está en solución acuosa).

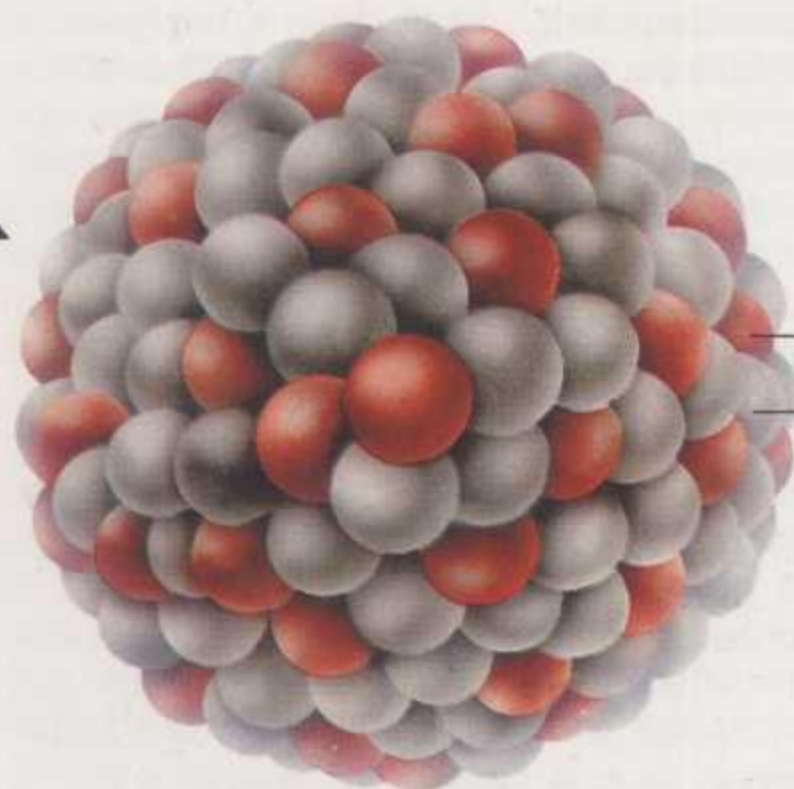
El flúor y el cloro están presentes en muchos derivados orgánicos, de los que algunos entran en el proceso industrial para la obtención de materiales plásticos de gran importancia (en particular, *teflón* y polivinilcloruro).

Véase **Bromo y yodo; Cloro; Gases nobles; Polímeros; Polímeros fluorados; Tabla periódica de elementos**



Rizzi/archivo Fabbri-Lazza

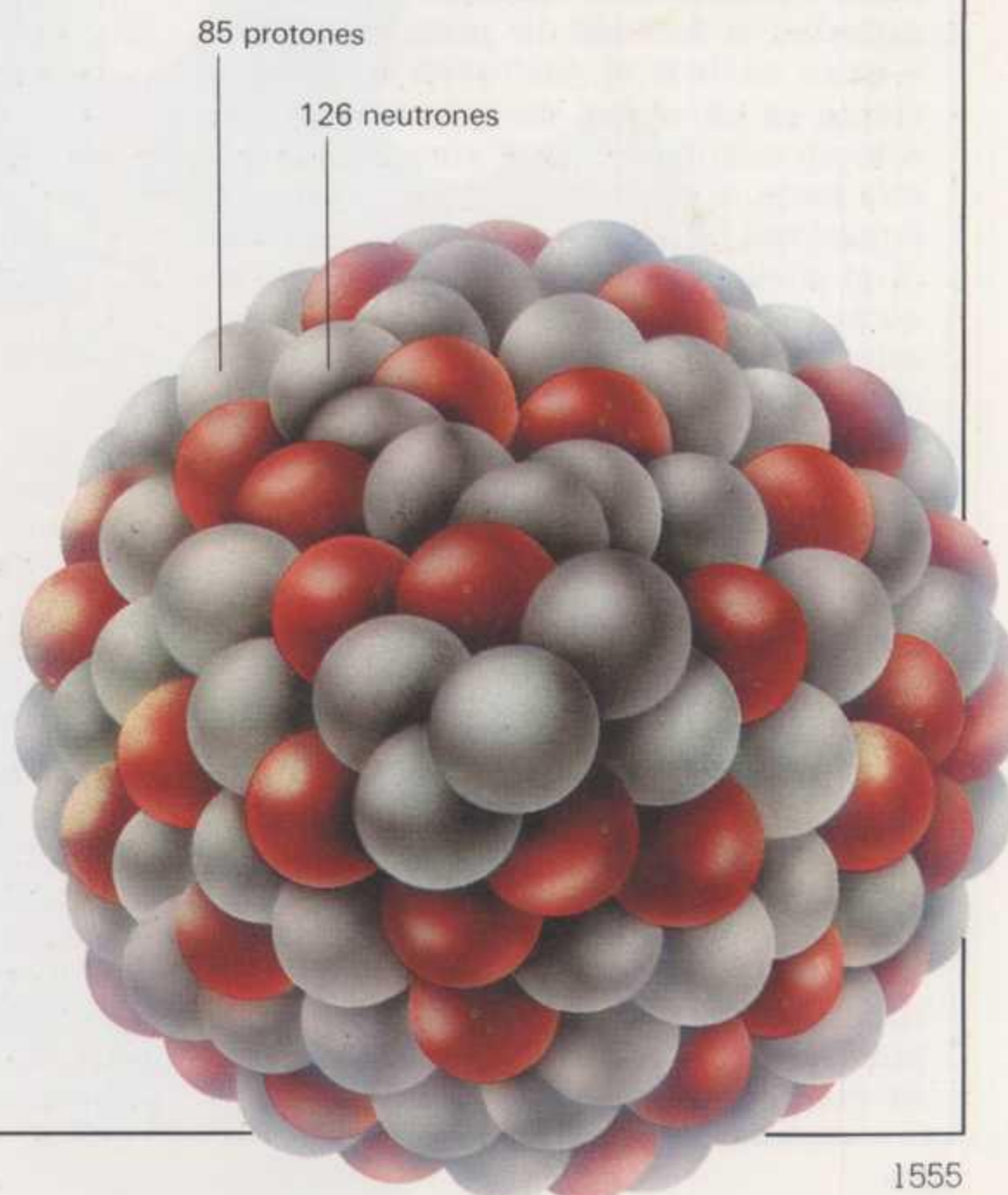
FORMACION DEL ASTATO BOMBARDEANDO BISMUTO CON PARTICULAS ALFA



83 protones
126 neutrones

NUCLEO DE BISMUTO

número atómico: 83
número másico: 209



85 protones
126 neutrones

NUCLEO DE ASTATO

número atómico: 85
número másico: 211

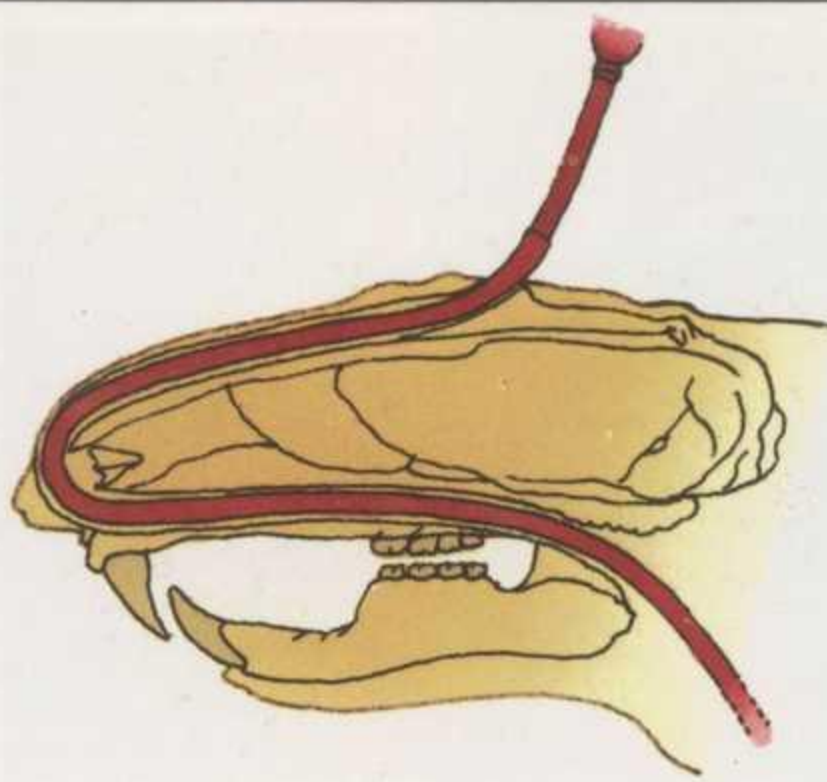
Hambre, sensación de

Los que se someten a una dieta próxima a comer "solamente cuando se encuentran verdaderamente hambrientos" piensan que el hambre es una respuesta puramente física a la necesidad que tiene el organismo de alimentos. Cuando, con fastidio, se dan cuenta de que tienen hambre a todas las horas del día, llegan a una conclusión esencial acerca de la naturaleza del hambre: no se trata solamente de un estímulo puramente físico, sino también de una sensación psicológica. El *hambre* puede definirse como un impulso intermitente o necesidad de alimentación, o bien como una sensación subjetiva acompañada por esa necesidad.

El centro cerebral del hambre Los científicos han intentado durante mucho tiempo determinar exactamente qué es lo que hace sentir la sensación de hambre tanto a los hombres como a los animales. En 1911, un fisiólogo norteamericano, Walter B. Cannon, descubrió que las personas que dicen tener hambre experimentan simultáneamente contracciones en el estómago. Este hecho le llevó a formular la hipótesis de que el hambre sería una sensación producida por tales contracciones. Posteriores investigaciones demostraron que todas las personas a las que se les había extirpado quirúrgicamente el estómago —y que, por lo tanto, no podían experimentar las mencionadas contracciones— tenían también sensaciones de hambre.

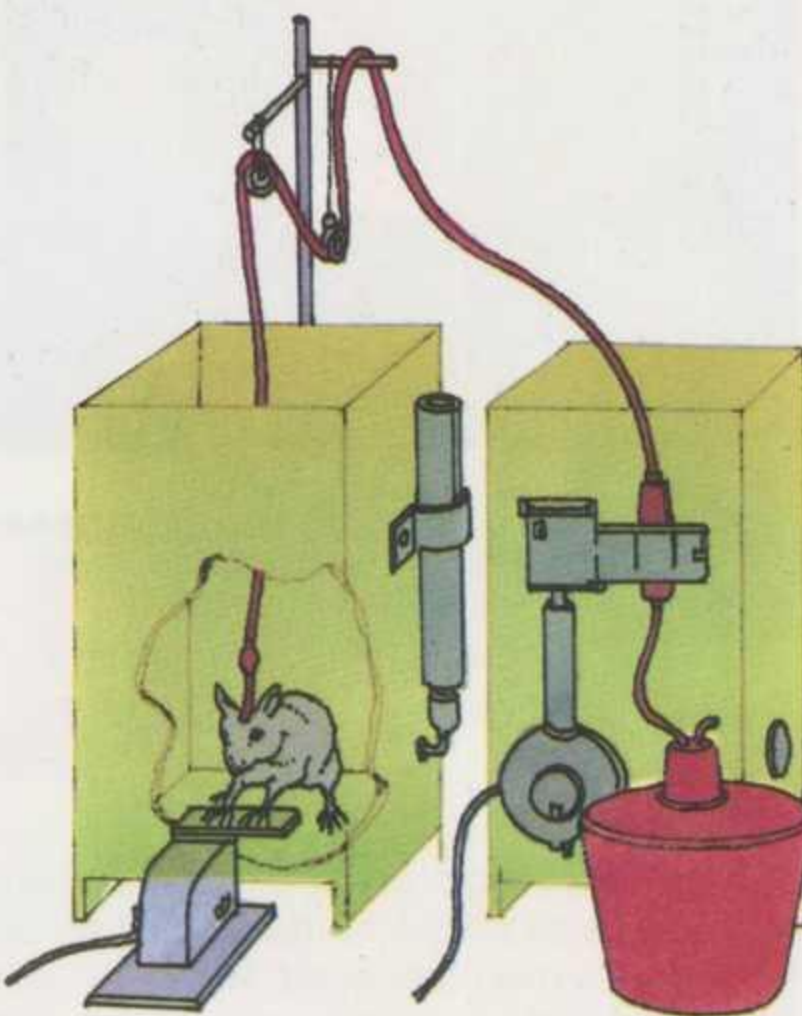
En consecuencia, los científicos mantienen que la sensación de hambre está controlada por el cerebro. El hipotálamo, que es la parte inferior del diencefalo —la parte anterior del eje central—, es el centro cerebral del hambre. El hipotálamo se encuentra subdividido en varios pares de núcleos, o centros, que toman sus respectivos nombres según su situación. Los núcleos hipotalámicos mediales controlan la saciedad, la decisión de "parar de comer"; si estos núcleos se destruyen quirúrgicamente en un animal de experimentación, éste no cesará de comer vorazmente. Por otra parte, si se destruyen los núcleos laterales del hipotálamo, el animal rechazará el alimento, hasta llegar a enfermar si no se le alimenta de manera forzada. Resulta evidente que los núcleos laterales son los centros que gobiernan la decisión de "comenzar a comer".

Vías nerviosas aferentes Los científicos no están completamente seguros sobre cuáles son los mensajes que activan los centros de la alimentación, pero piensan que existen cuatro tipos de vías que se activan tanto en situaciones de hambre como de saciedad. Los mensajes químicos pueden tener su origen en situaciones en las que se verifica un incremento del nivel de ácidos grasos libres o una disminución del nivel de glucosa en la sangre. También son importantes los mensajes de naturaleza nerviosa (del tipo estudiado por Walter B. Cannon): el estómago vacío se contrae, provocando la sensación de



Cerebro e interacción son los factores somáticos que controlan la alimentación. Cuando el cerebro recibe los estímulos somáticos que indican una necesidad de alimentarse, tiene lugar la iniciación de un comportamiento que se encamina hacia

la búsqueda del alimento. Una vez que el alimento es hallado, se realiza la ingestión del mismo hasta el momento en que el cerebro emite señales de detención. La composición del alimento y su sabor influyen en la mayor o menor duración de la ingestión.



La experimentación en animales ha posibilitado refrendar las actuales hipótesis que sostienen que la sensación de hambre es, en realidad, el resultado de un proceso bastante complicado y condicionado principalmente por la actividad de determinadas áreas cerebrales, cuya estimulación puede, por una parte, provocar una constante sensación de hambre en animales normalmente nutridos

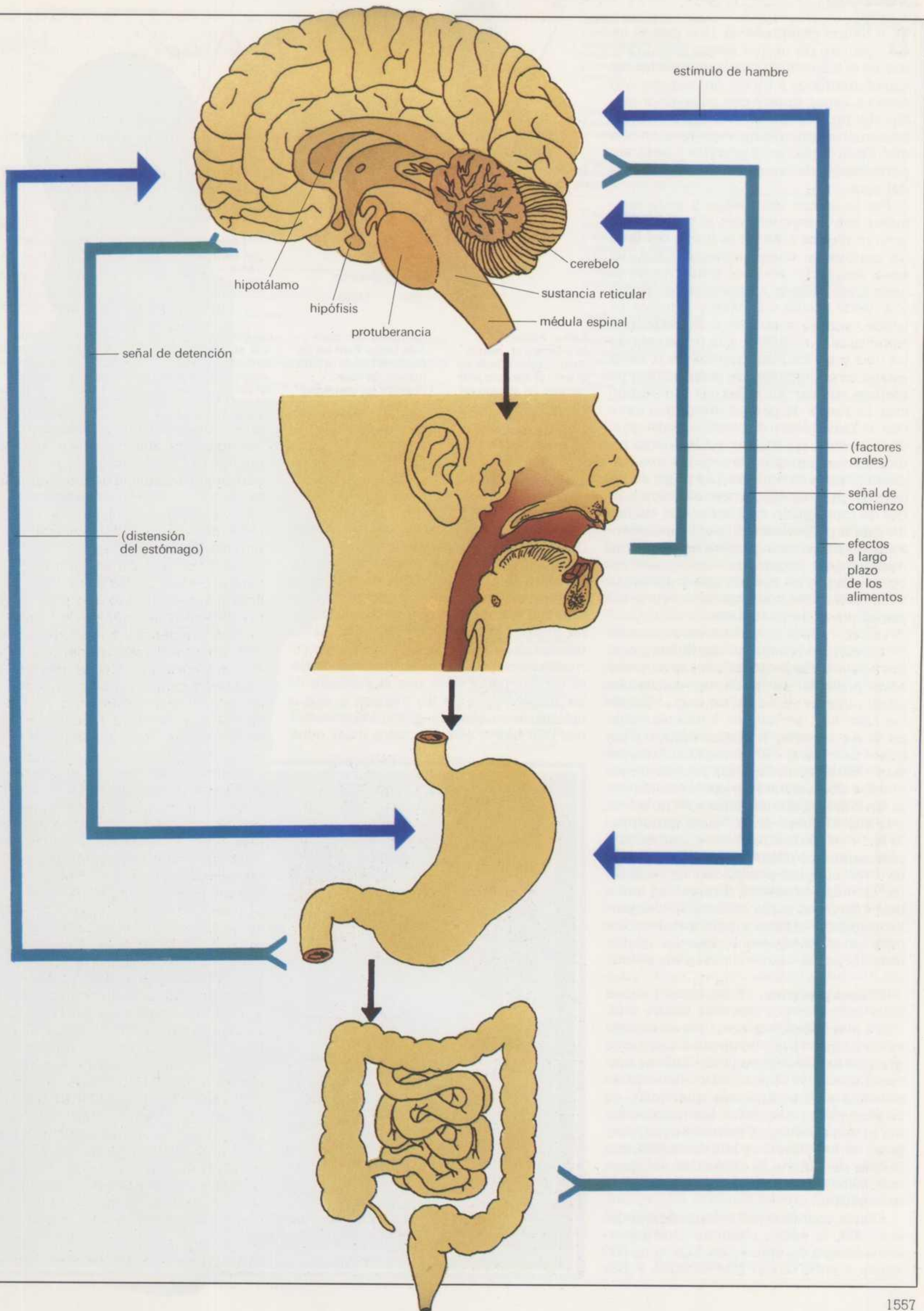
y, por otra parte, originar la sensación de saciedad incluso en animales mantenidos bajo un ayuno riguroso. En el esquema que aparece sobre estas líneas se representa un experimento en el que se demuestra cómo la regulación de la alimentación tiene lugar aun sin la intervención del olfato ni del gusto. La alimentación se realiza introduciendo directamente el alimento en el estómago del animal.

hambre. En caso de saciedad, la distensión del estómago y del tracto alimentario —la sensación de plenitud tan familiar después de una comida copiosa— envía a los núcleos hipotalámicos mediales el mensaje de que ya es hora de «levantarse de la mesa». Otro factor puede estar representado por los estímulos térmicos, ya que, cuando una persona permanece en ayunas, su temperatura sanguínea puede descender ligeramente. Las hormonas son mensajeros de las proteínas involucradas en la alimentación y en la digestión. Es probable que exista algún tipo de regulación hormonal del hambre y de la saciedad.

El organismo envía al cerebro mensajes procedentes de diferentes partes. Los órganos de los sentidos, cuando son estimulados por la visión, el olor y el sabor de un alimento apetitoso, incrementan los estímulos del organismo para alimentarse y de esta manera sentimos hambre. Cuando el tracto digestivo, el flujo sanguíneo y los lugares de almacenamiento (como, por ejemplo, el tejido adiposo) comunican al cerebro la existencia de reservas suficientes, entonces experimentamos una sensación de saciedad. Dejamos de comer, por tanto, cuando las señales de saciedad superan a las de hambre.

Llevando a cabo experimentos en el tubo digestivo de los animales, los científicos han descubierto que, para los distintos alimentos, las señales de hambre y de saciedad tienen origen en lugares diferentes. Cuando el esófago del animal en el que se lleva a cabo el experimento es seccionado y comunicado con el exterior del organismo, el investigador puede introducir el alimento bien a través de la boca (y, en tal caso, el alimento nunca alcanzará el estómago, puesto que el esófago ha sido interrumpido) o bien directamente en el estómago, poniendo en claro de esta manera y para cada uno de los alimentos que se experimentan cuáles son las señales más importantes: si las procedentes de la boca o las que provienen del estómago. Los investigadores han observado que un animal de experimentación puede tomar grandes cantidades de un alimento poco agradable que se coloca en su boca, pero dicho tipo de alimento debe alcanzar el estómago antes de que el cerebro reciba un mensaje que le diga "párate". Por el contrario, los alimentos de sabor agradable originan mensajes de detención que proceden de partes del organismo diferentes de estómago. Los científicos sostienen que los impulsos nerviosos son enviados al cerebro desde la boca, la garganta y el estómago; sin embargo, si todos los nervios procedentes del estómago son seccionados, el animal continuará comiendo normalmente. Este fenómeno ha llevado a pensar que deben existir otras vías, probablemente de naturaleza hormonal, pero el descubrimiento de una "hormona del hambre" parece todavía lejano.

Véase **Digestivo, aparato; Estómago; Nervioso, sistema**



Hélice

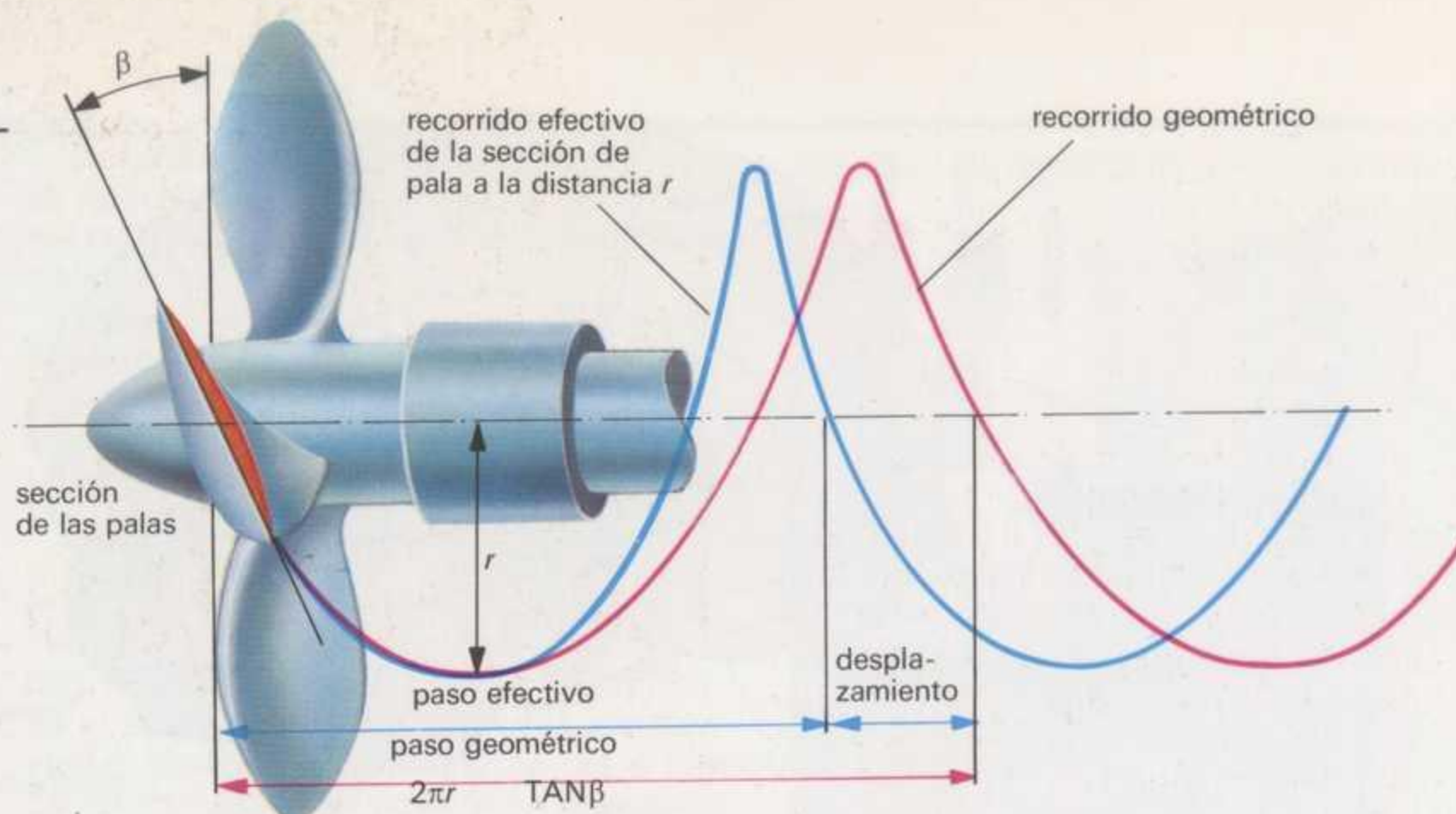
La hélice, patentada en 1836 por el ingeniero de origen sueco John Ericsson, es el dispositivo que hizo posibles los viajes marítimos a través del océano con naves a vapor, puesto que su anterior medio de propulsión, la rueda de paletas, presentaba serios inconvenientes en alta mar. Estas ruedas eran grandes y pesadas, permaneciendo siempre la mitad fuera del agua.

Por la acción del oleaje, y particularmente con tiempo ventoso, el balanceo de la nave dejaba a veces la rueda del lado de barlovento completamente fuera del agua, haciendo difícil el gobierno de la nave y sometiendo a esfuerzos peligrosos a la rueda misma, a la nave y al motor. La hélice, por el contrario, completamente sumergida y no sujeta a la influencia de las olas y de los movimientos de la nave, estaba en condiciones de proporcionar un empuje regular en todas las circunstancias. La rueda de paletas impulsa la nave con un movimiento discontinuo análogo al de los remos: las paletas actúan como remos constantemente sumergidos, que empujan el agua hacia atrás. Las palas de las hélices giran alrededor del eje de un árbol de transmisión casi horizontal, de forma que la potencia se utiliza continuamente. Estas palas están dispuestas según un determinado ángulo de incidencia respecto al agua, de manera que impulsan la nave hacia adelante con un movimiento semejante al de un tornillo.

Hélice y rueda de paletas estuvieron en competencia durante un cierto tiempo, al comienzo de la propulsión a vapor, y muchos preferían la rueda de paletas en cuanto que permitía utilizar mayor potencia (aún hoy, se emplea frecuentemente en la navegación en bajos fondos y en aguas interiores). Pero en 1845 el Almirantazgo Británico realizó una prueba de remolque entre dos naves aproximadamente análogas en dimensiones y en potencia, y la superioridad de la hélice quedó patente fuera de cualquier duda. La rueda de paletas, menos eficaz a bajas velocidades, no tuvo ninguna posibilidad de victoria. Las grandes potencias disponibles aun a baja velocidad por la hélice la hacían particularmente atractiva para resolver los problemas inherentes a todas las maniobras, incluidas las de atraque en puerto.

Hélices pareadas Las hélices pueden estar formadas por dos, tres, cuatro o incluso más palas, según el tipo de embarcación a que vayan destinadas. Las naves grandes tienen a menudo dos hélices e incluso cuatro, lo que no sólo aumenta su potencia y velocidad, sino que facilita su empleo en las maniobras. Los transbordadores van provistos a menudo de un conjunto de hélices en cada extremidad, con lo que se elimina la necesidad de tener que virar para invertir la dirección de navegación.

Con la aparición del avión, a finales del siglo XIX, la hélice encontró otro importante campo de aplicación. El aire es 800 veces menos denso que el agua y por



Arriba, hélice girando en un medio ligero, como puede ser el aire; el ejemplo vale también en el caso de un fluido como el agua. Si la hélice avanzase dentro de un sólido, podríamos observar, en sus extremos, la descripción de una curva, llamada *hélice*

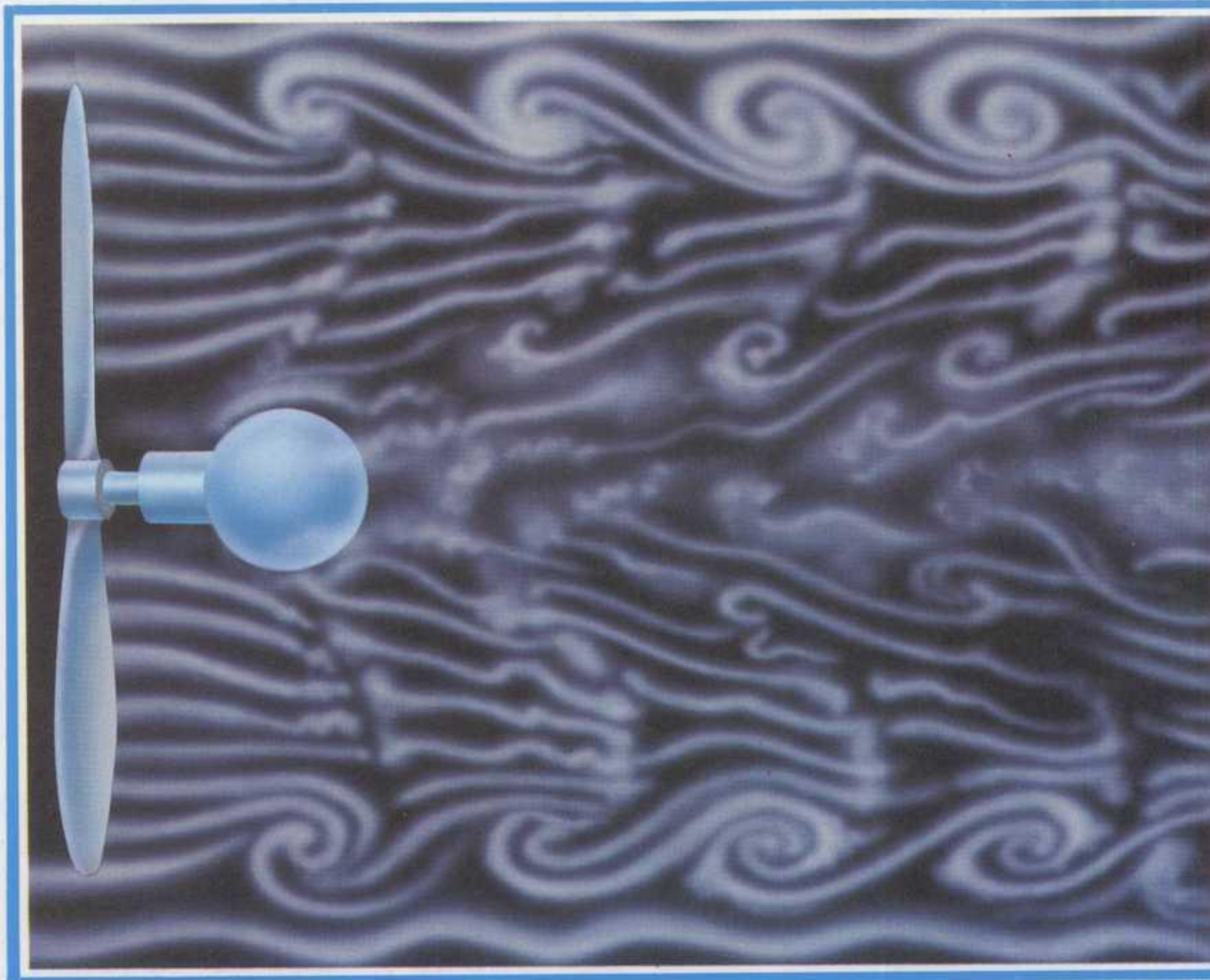
cilíndrica, con paso más largo. Pero en un fluido la hélice avanza menos, es decir, muestra un descenso de rendimiento respecto al caso ideal. En la página siguiente, operaciones de acabado y montaje de una gran hélice sobre el árbol motor de un barco. En el caso de

las hélices aplicadas a la propulsión de embarcaciones, aquellas se mueven en un líquido que, a diferencia del aire, no se puede comprimir. Además, este fluido se puede evaporar y, cuando la velocidad de la hélice es excesiva, detrás de ésta se puede formar un

"vacío" de agua, reemplazada tan sólo por el vapor de la misma agua. El fenómeno se denomina *cavitación* y resulta muy perjudicial para el rendimiento de la hélice. Por ello, las hélices navales requieren cuidadosas y particulares técnicas constructivas.

consiguiente la hélice de un avión debe desplazar un volumen de aire mucho mayor para poder hacer avanzar al aparato. Esto significa que tal hélice no sólo debe tener un diámetro mayor con respecto a la hélice marina, sino que además debe girar a una velocidad muy superior. Al comienzo de la aviación, las hélices más corrientemente utilizadas eran las de madera de dos palas, pero con el aumento de las dimensiones de los aviones y con la mejora de su eficacia aparecieron versiones con tres e incluso cuatro palas cons-

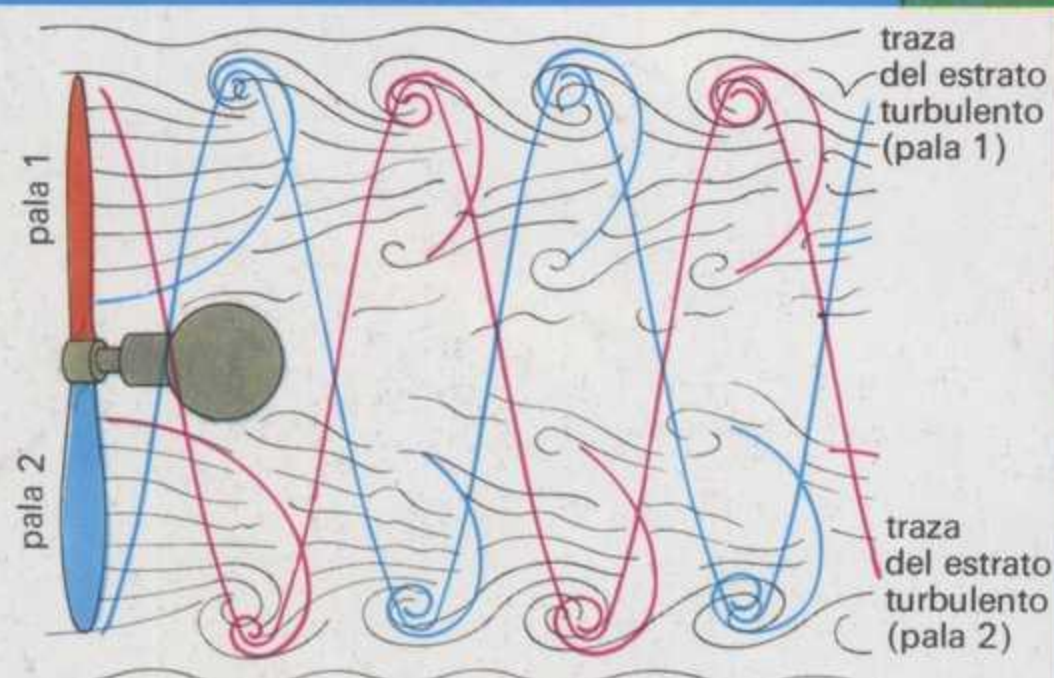
truidas en acero. El principio en que se basa la hélice aérea es diferente del de la hélice marina, ya que la pala de la primera está configurada según un perfil alar y no según una superficie curva. Durante su rotación desarrolla una potencia que arrastra el avión hacia adelante. Cada pala está dispuesta según una incidencia análoga a la que encontramos en una hélice marina, pero, además de esta disposición de base, las palas tienen un determinado ángulo de inclinación a lo largo de su desarrollo para lograr un mejor ángulo de



ataque (o paso) para cada posición radial a lo largo de la pala. La longitud recorrida por un punto del eje en una revolución completa se denomina *paso* de la hélice.

Paso variable Una importante mejora en el desarrollo de las hélices aéreas ha sido la realización de un mecanismo que permite al piloto variar el paso de la hélice en vuelo. El efecto de esta maniobra es semejante al cambio de marcha de un automóvil: el piloto puede pasar de una configuración con paso mínimo (para el despegue y para la subida, cuando se requiere la mayor potencia posible a baja velocidad) a un paso mayor, proporcional a la velocidad (para el vuelo de crucero). En caso de avería del motor, es además posible girar las palas de la hélice para ponerlas en bandera (o sea, de perfil respecto a la dirección de vuelo), de forma que la acción frenante de la resistencia aerodinámica resulte mínima. El paso puede también ser completamente invertido, de manera que la hélice actúe como freno aerodinámico mientras el avión rueda sobre la pista después del aterrizaje. Hoy existe gran interés en el empleo de rotores de 8 ó 10 palas, de diámetro relativamente reducido, que combinan la eficacia de la hélice a baja velocidad con la eficacia a alta velocidad de las hélices anchas (*fan*). Estos grupos propulsores (*propfan*) tienen palas en forma de cimitarra, proyectadas para hacer óptimas las prestaciones en crucero a una cota de 10.000 m y a una velocidad de 960 km/h, típica de los actuales aviones de líneas regulares.

Véase **Ala de avión; Avión; Embarcaciones deportivas; Helicóptero; Vuelo, principios del**



A la izquierda, hélice aérea en un túnel aerodinámico con capas de humo para observar el recorrido del aire. Puede verse que, en correspondencia con los extremos de las palas, se forman turbulencias (que significan una pérdida de rendimiento). En las hélices aéreas estas turbulencias existen siempre, pero se pueden minimizar construyendo palas muy largas. Este sistema funciona sólo en el caso de velocidades inferiores a la del sonido; a velocidades superiores es indispensable que la parte que superaría aquélla ni siquiera exista y es por ello por lo que las palas de las hélices veloces se acortan. Arriba, esquema de la dirección exacta de los fluidos generados por una hélice en movimiento en el aire.



Helicóptero

Los autogiros y helicópteros tienen en la Naturaleza un modelo similar: la semilla del arce, cuyas dos hojas, curvadas como las alas de un avión, le proporcionan durante la caída un movimiento de rotación. Las hélices o rotores, que facilitan a autogiros y helicópteros su sustentación, tienen también esa forma aerodinámica, de manera que cuando giran crean una fuerza ascensional.

Hasta el año 1940 no existía ningún helicóptero en condiciones de volar sin dificultades. Un poco antes, el ingeniero y fabricante ruso-americano Igor Sikorsky había empezado a construir helicópteros parecidos a los actuales. El principal obstáculo que encontró fue el de su control en vuelo. Las superficies de elevación (los rotores) de un helicóptero, al contrario del ala fija de los aviones, no se mueven en el aire con velocidades constantes, y, como

principales exigidos por la industria eran la velocidad y la autonomía, que con el comienzo de la II Guerra Mundial se hicieron indispensables. Al final de la guerra, la construcción de un verdadero helicóptero por parte de Sikorsky dejó anticuado al autogiro, y, así, el nombre de Juan de la Cierva y su notable descubrimiento fueron olvidados (al igual que pasó con otros precursores, como Raúl Pateras Pescara, creador hacia 1921 del primer helicóptero).

El éxito de Sikorsky había sido precedido en 1936 por la sociedad alemana Focke-Achgelis, constructora de un avión con rotores gemelos que fue probablemente el primero y el único en efectuar vuelos de demostración en espacio cerrado, en la sala para exposiciones de Berlín (Deutschland Halle). Sin embargo, la guerra puso fin al posterior desarrollo de este

aparato. El proyecto de Sikorsky, el VS-300, era la máquina justa en el momento ideal. El primer vuelo tuvo lugar en 1940 y fue llevado a cabo por un avión con un único rotor, que podía transportar una buena carga útil. Cuando el conflicto terminó, fue el primer helicóptero en desarrollarse para usos tanto comerciales como militares.

En 1950, al estallar la guerra de Corea, los helicópteros revelaron, casi inmediatamente, su utilidad y fiabilidad. En este período habían surgido nuevas ideas, pero la versión de Sikorsky —con un gran rotor que giraba horizontalmente sobre el fuselaje y un rotor más pequeño dispuesto verticalmente en la extremidad de cola que impedía al fuselaje girar en sentido opuesto al rotor— se reveló como la mejor solución. Los helicópteros demostraron su gran versatilidad de empleo, al estar en

aquellas, giran en un plano horizontal. Las palas dispuestas de un lado, moviéndose hacia el viento, desarrollan una fuerza ascensional mayor respecto a las del otro lado que se mueven a sotavento. Esto crea un desequilibrio en la fuerza de elevación, que debe ser compensado para que el helicóptero sea gobernable. Un ingeniero español, Juan de la Cierva, encontró una solución a este problema construyendo un *autogiro*, que vuela como un avión y se eleva como un helicóptero. La Cierva montó un rotor de movimiento libre —semejante a las palas de un molino de viento— horizontalmente sobre el fuselaje de un avión con alas reducidas. El aparato tomaba altura gracias a la fuerza de elevación de las palas de los rotores cuando se ponían a girar por el flujo de la hélice. Para resolver el problema de la inestabilidad, colocó las palas de los rotores sobre goznes, de manera que pudieran cambiar automáticamente de paso de acuerdo con las variaciones del flujo de la hélice.

El autogiro de Juan de la Cierva se movía mediante un motor normal de avión de una hélice; la combinación de las palas del rotor con las pequeñas alas le proporcionaba suficiente fuerza ascensional para poder transportar una carga útil. No podía despegar verticalmente, pero necesitaba tan sólo una breve carrera de despegue y podía aterrizar casi vertical. Realizó su primer vuelo importante en 1929 (aunque los ensayos iniciales son de 1920, y el primer vuelo, de 1923). Pero los requisitos

El *Bell AH-1G Hueycobra* es un helicóptero militar de asalto con elevadas prestaciones. Diversos constructores han realizado ya modelos de similares características. Todos superan de forma brillante las clásicas dificultades de los helicópteros. La

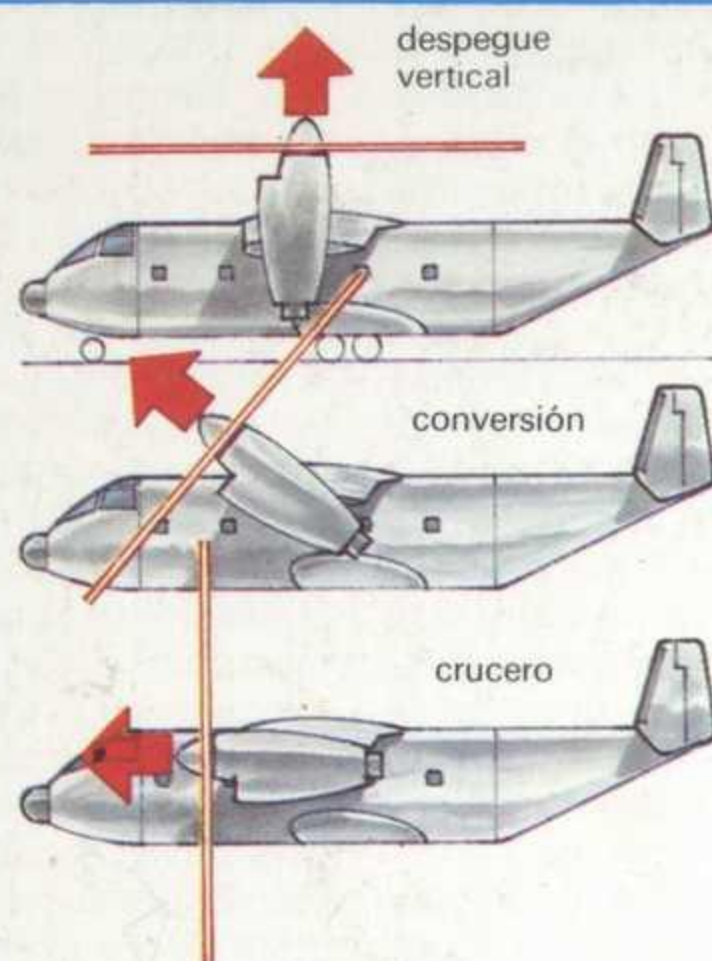
principal es la de obtener altas velocidades de desplazamiento, porque la sustentación por el rotor presenta una pala que avanza a gran velocidad; pero cuando en su rotación se desplaza hacia atrás, puede llegar a encontrarse inmóvil en el aire y en este caso



condiciones de llegar a todas partes, de transportar casi cualquier cosa, de llevar municiones al frente, de evacuar a los heridos y hasta incluso de tomar parte activa en el conflicto como "unidades de combate". En un helicóptero se podían montar cañones sin retroceso de pequeño calibre, ametralladoras y lanzacohetes, pudiendo permanecer sobrevolando la zona de combate y hacer fuego directamente hacia abajo contra las posiciones enemigas. A pesar de que su relativa lentitud los hacía vulnerables tanto a los ataques aéreos como al fuego desde tierra, tenían a su favor el factor sorpresa, apareciendo de la nada de repente a la altura de las copas de los árboles.

Incluso los helicópteros relativamente primitivos utilizados en la guerra de Corea estaban en condiciones de realizar "proezas" asombrosas. Las tropas de las lí-

El perfeccionamiento de la fórmula helicóptero, para el vuelo vertical, no ha excluido que se busquen también otros caminos. He aquí la fórmula del convertiplano, en el que los motores instalados sobre las alas pueden, para elevarse, girar hacia arriba y así levantar verticalmente el avión. Cuando se ha separado de tierra y ha alcanzado una altura suficiente, los motores giran poco a poco hasta quedar en posición horizontal y confían la sustentación a las alas, mientras las hélices efectúan la tracción.



Un helicóptero como el *AH-1G Hueycobra* es el último estadio de la evolución de un medio de vuelo de despegue vertical. En efecto: el helicóptero es el medio para volar que permite no sólo el despegue y aterrizaje verticales, sino el detenerse en vuelo e incluso marchar hacia atrás. Precisamente estas características le han conferido en la actualidad el grado de difusión y las aplicaciones que conocemos. Los trabajos para la obtención de un avión de despegue vertical, pero con altas velocidades de crucero, utilizan otras soluciones.



no ejerce sustentación. Con la variación de la capacidad de carga de las palas se supera ese inconveniente. Además, este helicóptero tiene un perfil muy fino con objeto de ofrecer poca resistencia al aire en el avance y poca superficie como blanco al fuego enemigo. La notable relación potencia/peso posibilita, por un lado, la realización de acrobacias (algunos de estos modelos de helicóptero pueden incluso efectuar vuelo invertido), y por otro, llevar una notable carga de elementos bélicos y hasta, en ciertos puntos, un ligero blindaje. Su estabilidad viene aumentada por dos aletas laterales.

neas avanzadas, cercadas o aisladas, podrían ser fácilmente abastecidas e incluso evacuadas por helicópteros que descendían verticalmente sobre su posición. Las comunicaciones en la región montañosa coreana resultaban sorprendentemente rápidas y se podía transportar un batallón completo a una posición amenazada empleando pocas horas en lugar de días.

Hasta entonces los helicópteros eran accionados, como los aviones de ala fija, por motores de pistón alimentados por gasolina; pero cuando, posteriormente, fueron instalados en los helicópteros grupos motopropulsores accionados por turbinas de gas, la relación peso/potencia cambió sensiblemente y aquéllos mejoraron mucho en eficacia. Los motores de explosión tenían un elevado coste de empleo y de mantenimiento; pero, con los turborreactores, los helicópteros resultaban muy competitivos, desde un punto de vista comercial, en las misiones para las que se

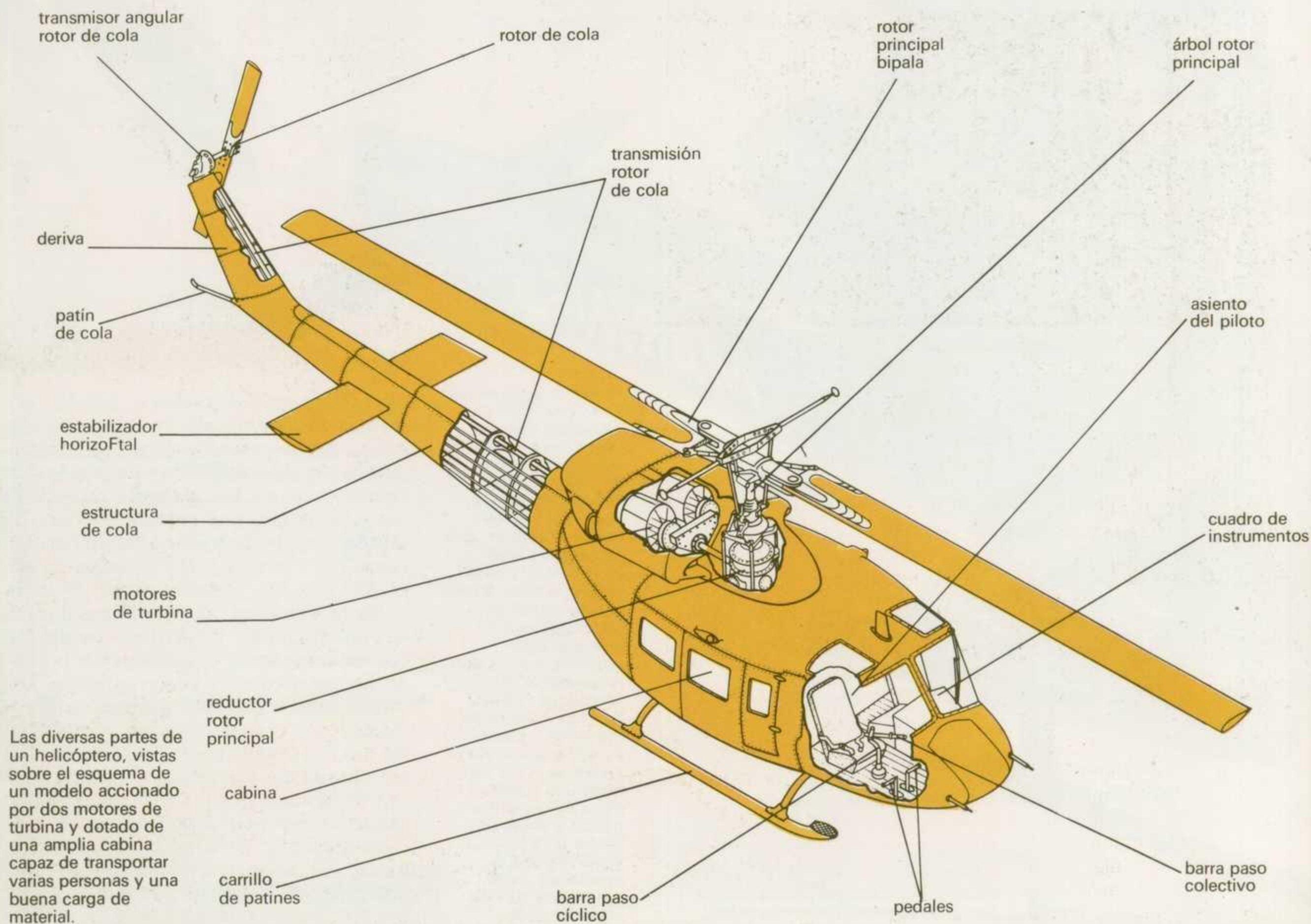
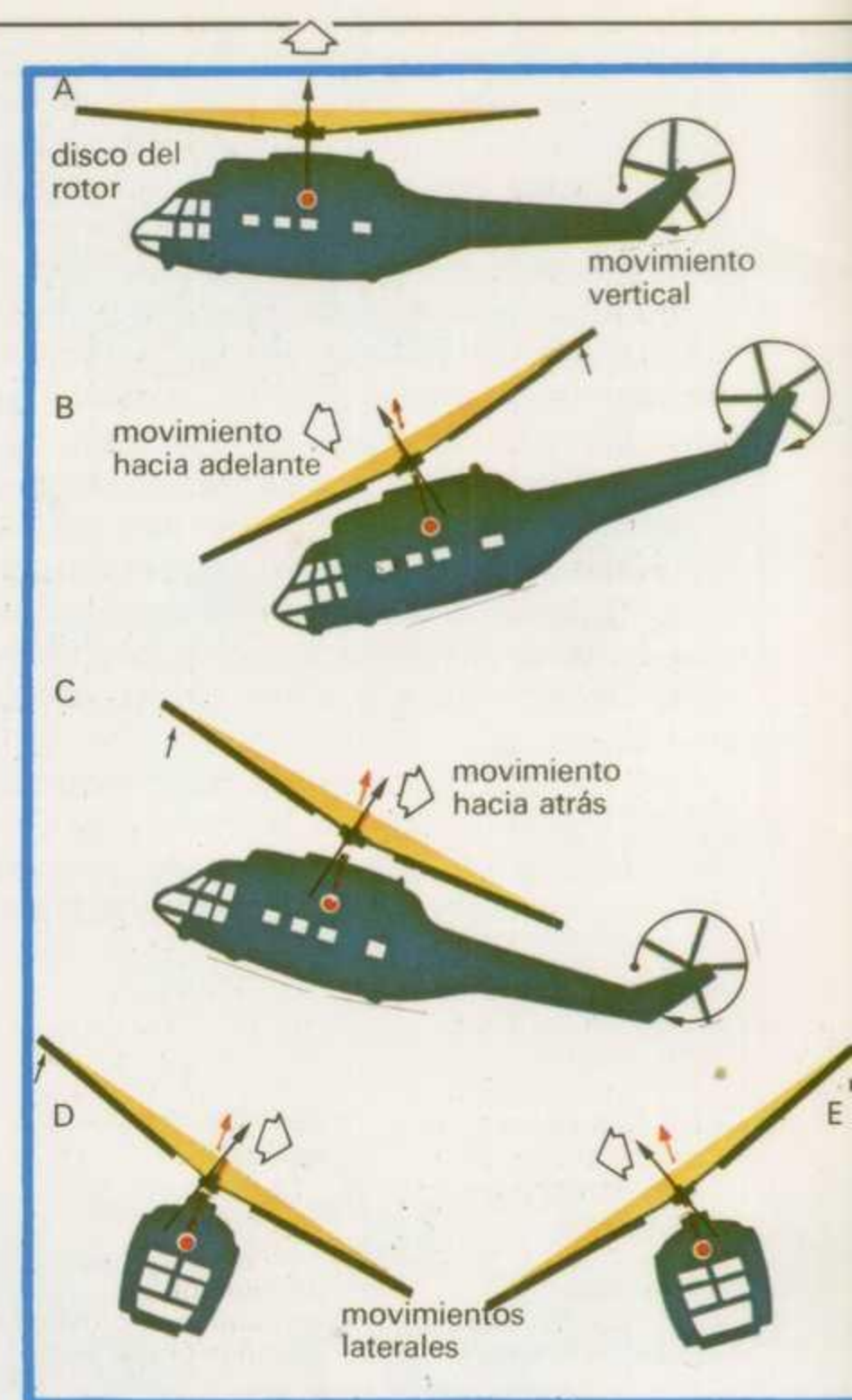
los requería. Por ejemplo, antes de la aparición de helicópteros a turbina, el transporte de pasajeros no estaba muy desarrollado: los helicópteros no eran suficientemente grandes y además el transporte resultaba demasiado costoso. Pero en 1962 tanto la Boeing como la Sikorsky lanzaron al mercado helicópteros de doble turbina, el *Boeing Vertol 107* y el *Sikorsky S-61 L*, y así el transporte de pasajeros desde el centro de las grandes ciudades a las terminales de las más importantes líneas aéreas se convirtió en una realidad. En la ciudad de Nueva York esto significó pasar de los 45-90 minutos empleados por un autobús o un taxi a los 7 minutos de vuelo en helicóptero para llegar desde el centro al aeropuerto Kennedy.

La guerra de Vietnam demostró, si todavía se hacía necesario, que el helicóptero había llegado a su "mayoría de edad" en cuanto aeronave robusta, segura y versátil. Para Estados Unidos, ésta fue una guerra llevada a cabo más con los helicópteros que con los fusiles y contribuyó a la difusión de estos aparatos en todo el mundo.

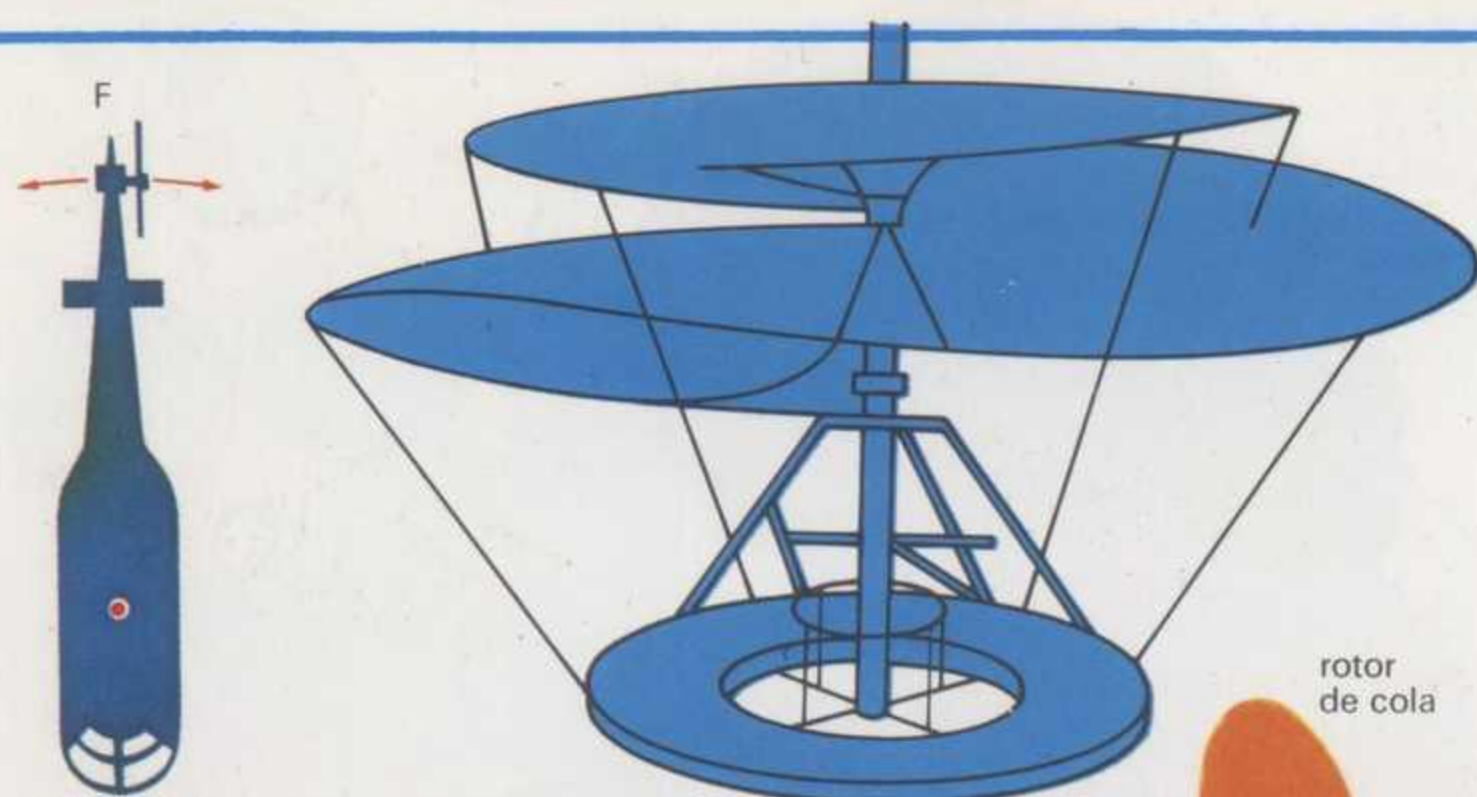
Con el aumento de la demanda de servicios del helicóptero y con la ampliación de sus posibilidades de empleo, se buscó resolver de varios modos sus factores restrictivos. Una solución consistía en la cons-

trucción de helicópteros de dos rotores que girasen en direcciones opuestas, lo que tiende a neutralizar las peligrosas fuerzas de desequilibrio y vibración. Otra era la reconsideración de rotores provistos de pivotes, proyectándose palas de rotores con diversos grados de flexibilidad a lo largo de su longitud para absorber tensiones sobre las palas, e incluso controlar su inclinación en determinados puntos para evitar la variación de la fuerza ascensional y participar activamente en la maniobra. Tales mejoras llevaron a un aumento de la velocidad y a una mayor maniobrabilidad. Redujeron asimismo las vibraciones, otro de los problemas que presentaban los helicópteros.

Las misiones que los helicópteros pueden llevar a cabo parecen ser prácticamente ilimitadas. Prescindiendo de su utilidad desde el punto de vista militar y de su empleo como aeronaves de salvamento, campo en el que no tienen rivales, los helicópteros pueden ser empleados como ambulancias en zonas remotas o de topografía abrupta, para descargar buques mercantes (los helicópteros *sky crane* —grúa del cielo— pueden elevar y transportar 25 o más toneladas), para prestar ayuda en las instalaciones de investigaciones petrolíferas submarinas, para elevar y transportar troncos desde zonas



Las diversas partes de un helicóptero, vistas sobre el esquema de un modelo accionado por dos motores de turbina y dotado de una amplia cabina capaz de transportar varias personas y una buena carga de material.



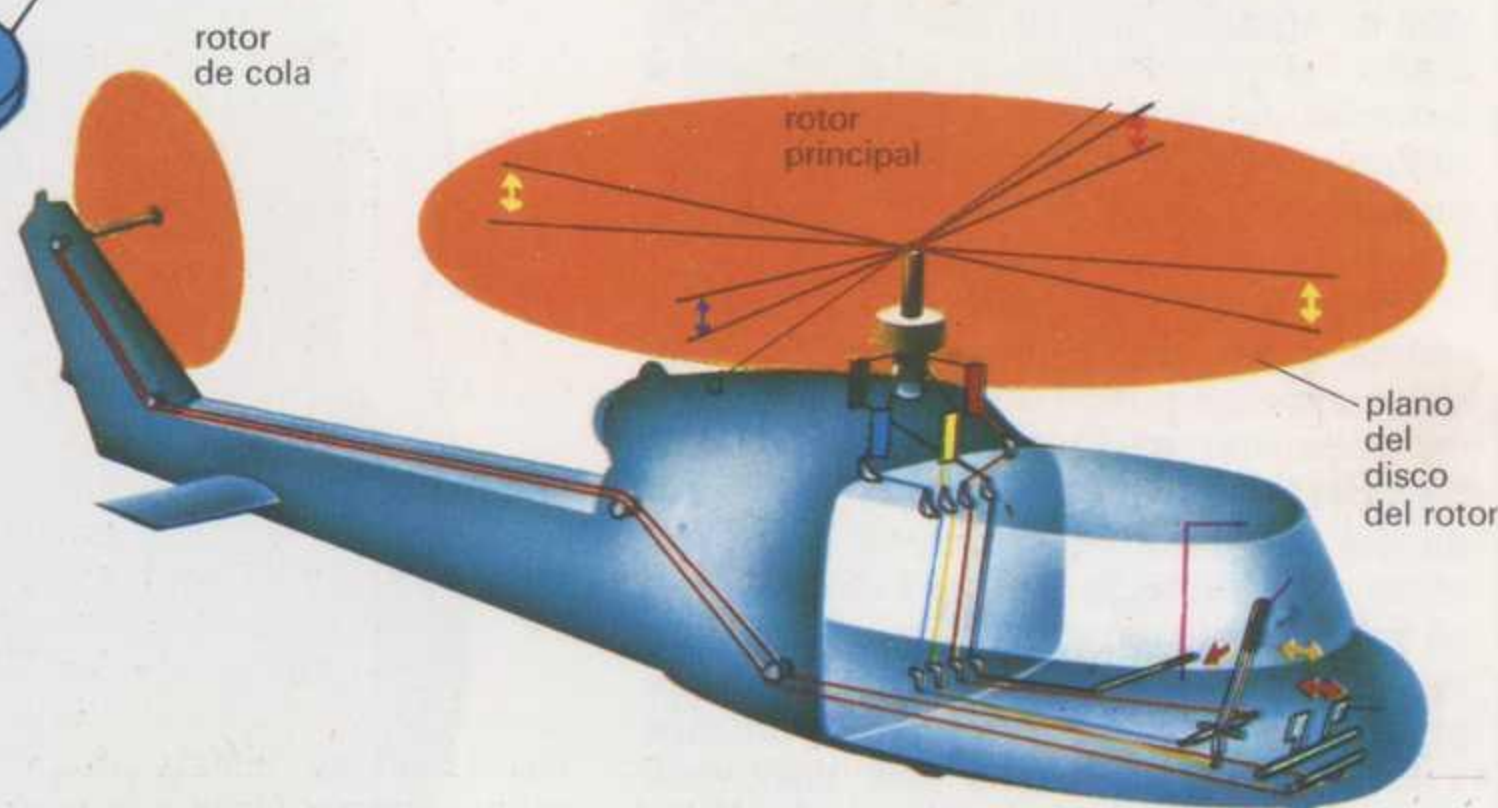
movimiento hacia la derecha o la izquierda

A la izquierda, cómo se mueve el rotor del helicóptero para efectuar maniobras. En A, se tiene sólo el movimiento vertical (que será de ascenso o descenso, según el ángulo de inclinación de las palas y la potencia suministrada por el motor). En B, la inclinación hacia adelante provoca el

desplazamiento; y en C, la inclinación hacia atrás produce el frenado o el retroceso. En D y E se ve cómo la inclinación del rotor provoca movimientos laterales. En F se observa cómo la variación del empuje lateral de la hélice, en aumento o disminución, provoca la variación de la

dirección longitudinal del helicóptero y el cambio de la dirección de movimiento, que debe ser acompañado de una inclinación lateral del rotor para compensar la aceleración centrífuga. A la izquierda, el modelo de helicóptero con ala-hélice giratoria de Leonardo da Vinci. Abajo, la disposición de los diversos mandos

del rotor para elevación del aeromóvil y para el rotor de la cola. Este último es necesario para compensar la reacción debida a la rotación del rotor principal. Sin la hélice de cola, todo el cuerpo del helicóptero giraría en sentido contrario. Otra solución sería la de dos rotores girando en dirección opuesta.



A la izquierda, uno de los primeros helicópteros: el C-30, de Juan de la Cierva. Bajo estas líneas, el modelo *Aerospacial*

Puma para fines militares, y más abajo, el *Aerospacial Dauphin II*, versión civil para transporte de "ejecutivos"



inaccesibles, para vigilar las autopistas de gran densidad de tráfico y las zonas fronterizas, y para realizar otros innumerables cometidos que ninguna otra aeronave puede efectuar. Los helicópteros con rotores inclinables (VTOL o convertiplano) garantizan todavía mayor flexibilidad y posibilidades de empleo. Hasta la idea del autogiro, concebida por Juan de la Cierva, se vuelve a retomar en los helicópteros más pequeños, conocidos como *girocópteros*, con rotores de movimiento libre y un pequeño motor para la propulsión hacia adelante. Este tipo de helicóptero, cuyo piloto va sentado en la parte descubierta, es particularmente útil para vigilar las líneas eléctricas, las grandes fincas, las plantaciones, los cercados alrededor de campos cultivados e instalaciones industriales y militares, etcétera.



Hembra

Es algo obvio que numerosas especies, ya sean pertenecientes al mundo animal o al vegetal, se reproducen sexualmente; es decir, a partir de la fusión de células reproductivas especializadas llamadas *gametos*. Cada gameto aporta la mitad del material genético necesario para la creación de una célula única. La combinación de dos gametos, uno de cada progenitor, da lugar a una nueva célula que constituye la base para el desarrollo de un nuevo individuo. Existen dos tipos de gametos, el espermatozoide —producido por el aparato genital masculino— y el óvulo —producido por el aparato genital femenino—. *Hembra*, por tanto, es, en su definición más simple y esencial, una criatura productora de óvulos.

La hembra en el reino animal La diferencia entre macho y hembra de cualquier especie puede ser mínima. Se puede demostrar que ciertos tipos de paramecios (forma animal unicelular) se reproducen sexualmente, si bien la distinción entre un paramecio macho y uno hembra es una labor de expertos. También los sauces llorones, al igual que otras muchas plantas, se dividen en ejemplares machos y hembras, pero resulta casi imposible para el profano distinguirlos.

Los animales más primitivos presentan los dos sexos reunidos en el mismo individuo. Tal condición se denomina *hermafroditismo*. En los animales que se han originado en una época más reciente de la historia natural, por el contrario, los sexos aparecen separados. Algunos caracteres externos permiten distinguir claramente los ejemplares que pertenecen a un sexo de los que pertenecen al otro. Estas diferencias están referidas no sólo a los órganos genitales, sino también a las dimensiones del individuo, al color de la piel o del plumaje, y a otras características del cuerpo. Estas, definidas como características sexuales secundarias, pueden ser extremadamente llamativas. En un animal marino, la *Bonellia viridis*, la hembra tiene una longitud de casi dos metros, mientras que el macho apenas alcanza unos pocos milímetros. En un insecto como la termita, la reina —es decir, la hembra que produce los huevos de toda la comunidad— es pesada y gruesa.

Entre los mosquitos se observa una diferencia de comportamiento muy interesante: sólo la hembra "chupa" la sangre, y lo hace porque sus necesidades nutricionales son muy elevadas durante la fase adulta, cuando los huevos en período de maduración necesitan gran cantidad de material de reserva.

En términos generales, puede afirmarse que cuanto más complejo es el organismo, mayor es la diferencia entre los sexos. En muchos vertebrados —pero no en todos— la hembra tiene la función de alumbrar a la prole y de cuidarla. Las hembras de los marsupiales están dotadas de unas bolsas en las cuales mantienen y transportan a sus crías hasta que son capaces de alimentarse por sí mismas. Las

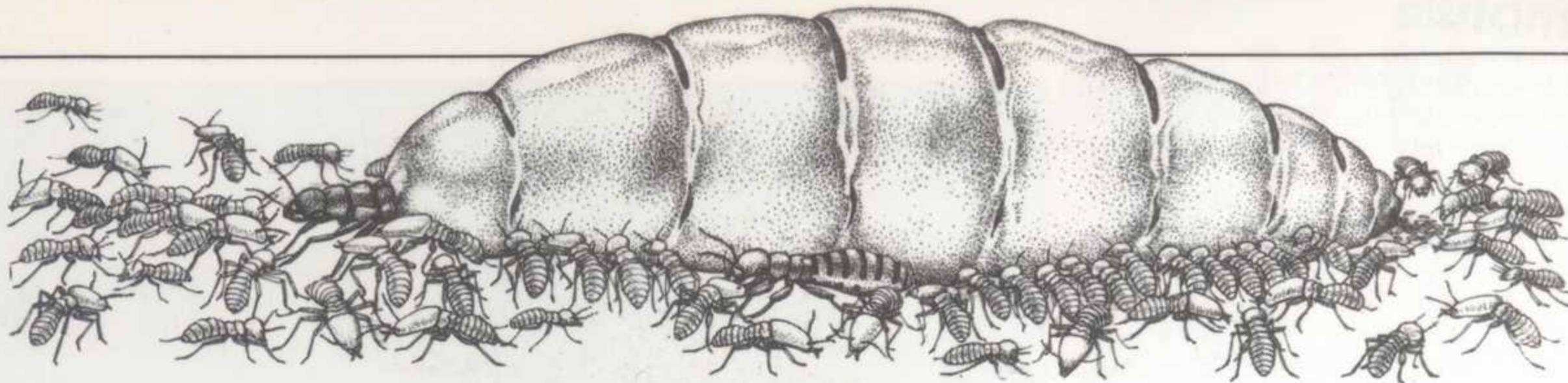
hembras de los pájaros comúnmente incuban los huevos en el nido, para proporcionarles el calor requerido hasta que se abren y nacen los polluelos, y atienden a la alimentación de la prole. Los pequeños babuinos se desplazan "prendidos" a sus madres, que a su vez se asocian en grupos cuyo dominio es de competencia de un solo macho. Una excepción notable a la división de funciones hasta ahora mencionada es la constituida por el pingüino emperador. En esta especie es el macho el que se ocupa de los huevos, mientras que la hembra dedica su tiempo a explorar las aguas del mar en busca de alimento.

Las diferencias de comportamiento, dimensiones y coloración de los dos sexos se denominan *dimorfismo sexual*. Cuando ambos progenitores se dedican a la atención de los pequeños, el dimorfismo no es muy acentuado. Cuando, por el contrario,

es sólo la hembra la que cumple esta función, la coloración de los machos es muy vistosa. En el pavo real, en el faisán y en muchas aves del Paraíso esta distinción es muy evidente. Tales características del macho constituyen un estímulo para desencadenar el comportamiento sexual en la hembra. Se piensa que las hembras carecen de tales reclamos porque su mimetismo las hace estar mejor protegidas del ataque de los depredadores durante la etapa en que deben cuidar sus crías. La condición femenina en el reino animal comporta, pues, adaptaciones diferentes a las que presentan los machos. Uno de los casos más interesantes es el que se da en la comunidad de los leones. Contrariamente a lo que se creía, son las hembras quienes obtienen el alimento para el grupo, cazando en la sabana grandes herbívoros. Luego ceden parte de su botín a los cachorros y a los machos, que se sirven



La función reproductiva ha sido el elemento primario en la definición de la hembra en el curso de la Historia humana. Esta escultura paleolítica (Venus de Willendorf) lo demuestra claramente: se resaltan desmesuradamente las caderas, el vientre y los senos (*esteatopigia*). Actualmente, el papel que la mujer desempeña en las sociedades desarrolladas es prácticamente el mismo que el de los varones, aunque todavía existen ámbitos de discriminación y desigualdad.



generosamente tomando la "ración" proverbialmente llamada "parte del león". En los animales sociales la razón principal por la que viven en comunidad es, precisamente, la protección de la prole y la garantía de la supervivencia de las crías.

La hembra de los seres humanos El papel femenino más complejo es sin duda el que se da en la especie humana. Su particularidad se basa en el hecho de que la naturaleza de la mujer está determinada no sólo por su realidad biológica sino también por elementos culturales. La hembra humana es comúnmente más pequeña y físicamente más débil que el macho; su cuerpo tiene huesos más pequeños, menos pelo y más tejido adiposo. La pelvis femenina es relativamente más amplia que la masculina, para facilitar la gestación y el parto. Como todas las hembras de los mamíferos, la hembra humana posee glándulas mamarias, órganos que segregan leche para la nutrición de la prole en las primeras etapas de su vida.

Los óvulos son producidos en la mujer por dos pequeños órganos llamados *ovarios*, colocados más o menos a la altura de la cabeza del fémur. Los ovarios segregan además dos hormonas, *estrógeno* y *progesterona*. El nivel que estas dos sustancias alcanzan en el organismo varía según un ritmo cíclico, que corresponde aproximadamente a un mes lunar (28 días). Después de su maduración en el interior del ovario, el óvulo desciende a lo largo de un estrecho canal, la trompa de Falopio, donde puede ser alcanzado y fecundado por un espermatozoide.

La unión del óvulo con el espermatozoide da origen al *zigoto*; éste se implanta en la pared del útero, o endometrio, y comienza a dividirse. Si el óvulo no es fecundado, degenera y es eliminado en el proceso de la menstruación. El embrión en vías de desarrollo es circundado por las células endometriales que forman la *placenta*, un órgano cóncavo a través del cual el feto recibe los elementos de nutrición provenientes del organismo materno.

Las funciones sociales Tradicionalmente es la madre la que tiene la responsabilidad de cuidar a la prole. Durante las primeras etapas de la vida del recién nacido, su alimentación depende de la leche materna, si bien en el mundo occidental la leche materna es actualmente sustituida en muchos casos por leche artificial, aunque los modernos avances en el campo de la Pediatría han revaluado la lactancia materna como factor importante para

la salud y el armonioso desarrollo del recién nacido. Puesto que la hembra, en casi todas las culturas conocidas, tiene la tarea de ocuparse de la prole, el dominio social con todas sus implicaciones ha correspondido al sexo masculino. Existen, sin embargo, ejemplos de culturas matriarcales en las cuales es la hembra la que tiene el papel dominante.

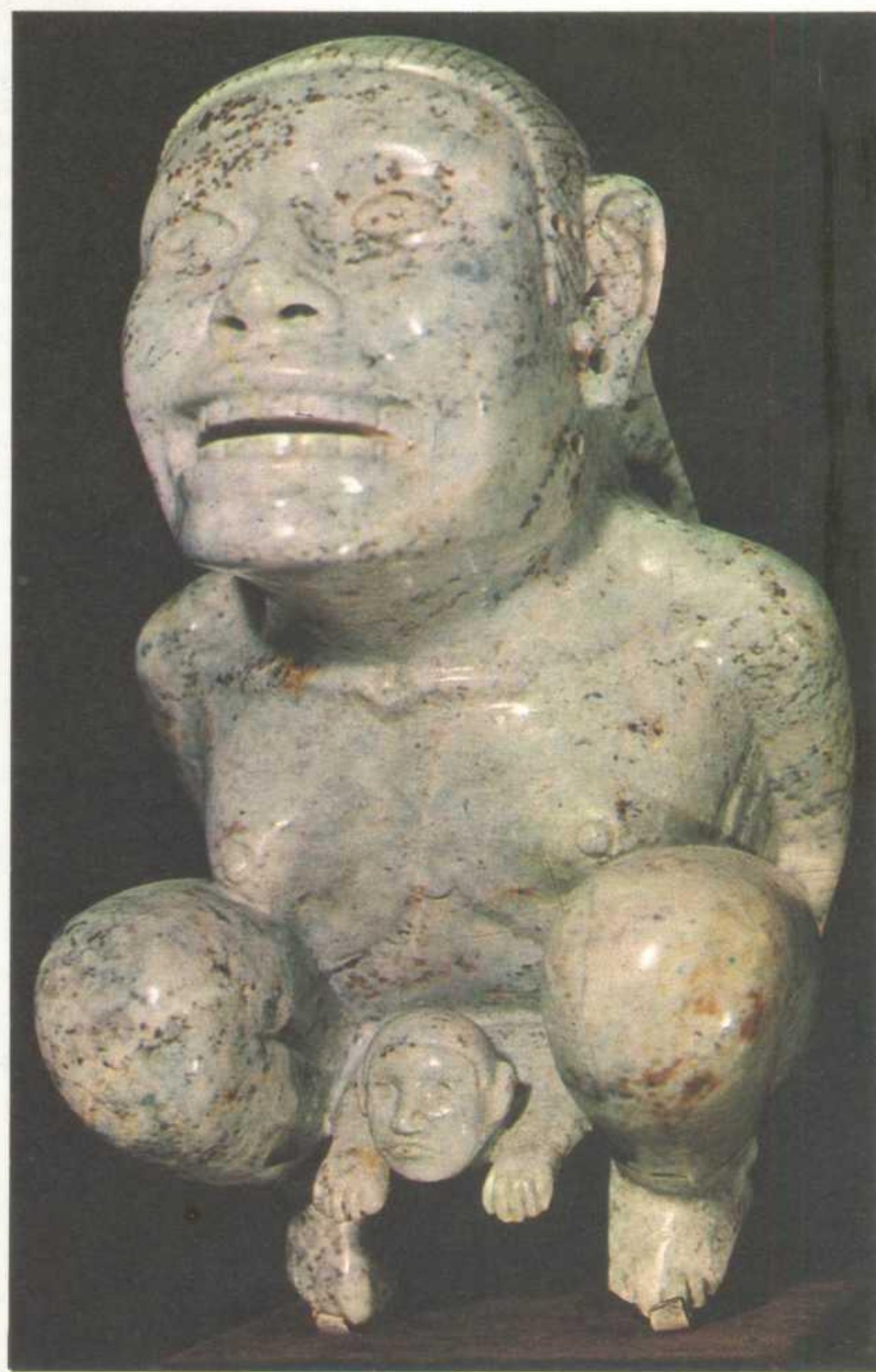
La condición subordinada de la mujer ha sido expresada de muchas maneras, desde los escritos de hombres como Nietzsche hasta el hábito islámico de la *purdah*, por el cual el cuerpo de la mujer debe ser cubierto casi totalmente para que no pueda ser mirado. En todas las culturas la hembra humana es considerada sobre todo como expresión de belleza, contrariamente a lo que sucede en muchas especies animales donde son los ma-

chos los que están adornados de vistosos colores.

A partir del siglo pasado se ha ido desarrollando en los países occidentales un movimiento de opinión tendente a equiparar la condición femenina a la del hombre. Este movimiento ha producido agitaciones sociales de gran alcance, aunque su influencia sobre la cultura es todavía difícil de medir. Pero es obvio que una sociedad en la cual mujer y hombre asuman en igualdad de condiciones la responsabilidad de la crianza y educación de los hijos, y donde la mujer tenga el mismo reconocimiento social, será una sociedad distinta a la actual.

Véase **Adolescencia; Concepción; Infancia; Macho; Reproducción**

La reina de las termitas (arriba) es ciertamente una de las hembras más ilustres y representativas del reino animal. Permanece prisionera en el interior del nido, desarrolla enormes dimensiones y su única función es asegurar la reproducción de la especie: unos 50 millones de larvas nacen de sus huevos. La reproducción sexual se ha originado en el curso de la historia natural como una división de funciones entre los dos sexos, como garantía de la supervivencia de la prole, es decir, como especialización de actividades. La función reproductiva ha sido un importante elemento de afirmación y definición de la mujer en las diversas culturas humanas. La diosa azteca del parto (a la derecha) expresa claramente la importancia y la vitalidad del acto reproductivo como valor, que aún hoy es primordial en muchas culturas primitivas.



Hemofilia

La palabra *hemofilia* deriva etimológicamente del griego, que significa "amante de la sangre", es decir, propenso a sangrar.

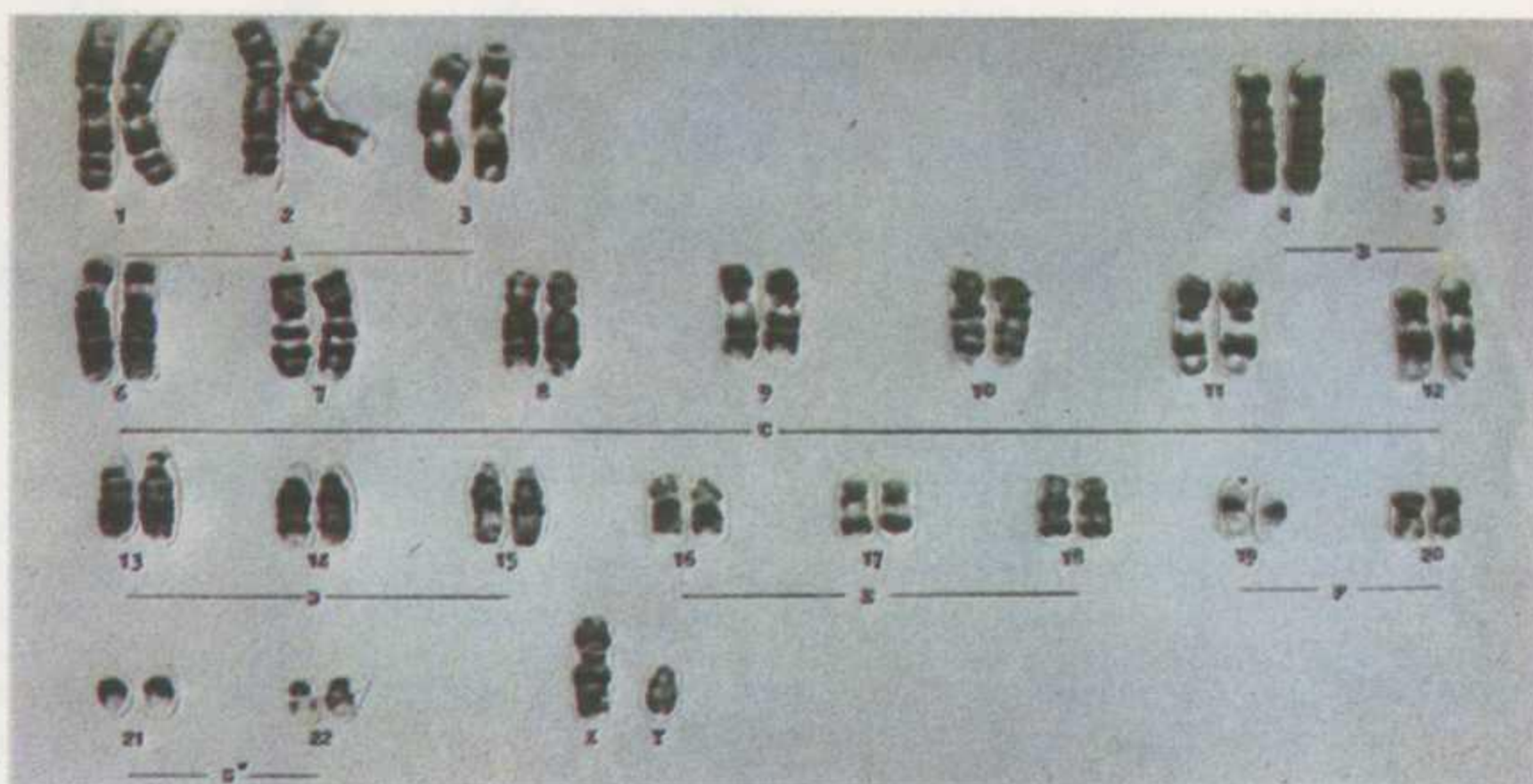
La coagulación es uno de los mecanismos de los que dispone el organismo para cohibir las hemorragias. En ella intervienen una serie de sustancias, denominadas *factores*, y su finalidad última es la consecución de una madeja de fibrina, la cual, englobando a una serie de elementos, va a constituir el coágulo de sangre. Este tapon el vaso lesionado e impide que prosiga la extravasación de sangre.

La hemofilia es un cuadro clínico congénito ligado al cromosoma X y caracterizado por un déficit de la actividad coagulante del factor VIII (hemofilia A) o del factor IX (hemofilia B), que se manifiesta por la aparición de hemorragias. El término hemofilia se reserva exclusivamente para los trastornos de estos dos factores, si bien es cierto que algunas alteraciones de otros factores también pueden condicionar una tendencia a padecer hemorragias.

La hemofilia se puede clasificar como leve, moderada o grave según la cantidad de factor circulante.

La mejor forma de identificar a los cromosomas es fotografiarlos y posteriormente ordenarlos por pares. El empleo de técnicas especiales —como el bandeo G mediante tripsina— permite distinguir claramente unos cromosomas de otros. En la imagen superior, cariotipo masculino. La reina Victoria de Inglaterra era heterocigota y transmitió el carácter

a varios miembros de familias reales europeas, como el Zarevich Alexis (hijo de Nicolás II) y los hijos de Alfonso XIII, Alfonso (príncipe de Asturias) y Gonzalo, a cuyas muertes no fue ajena la dolencia. Los actuales reyes europeos no están afectados y sus descendientes tampoco lo estarán si no se emparejan con algunas descendientes de Victoria de Inglaterra.



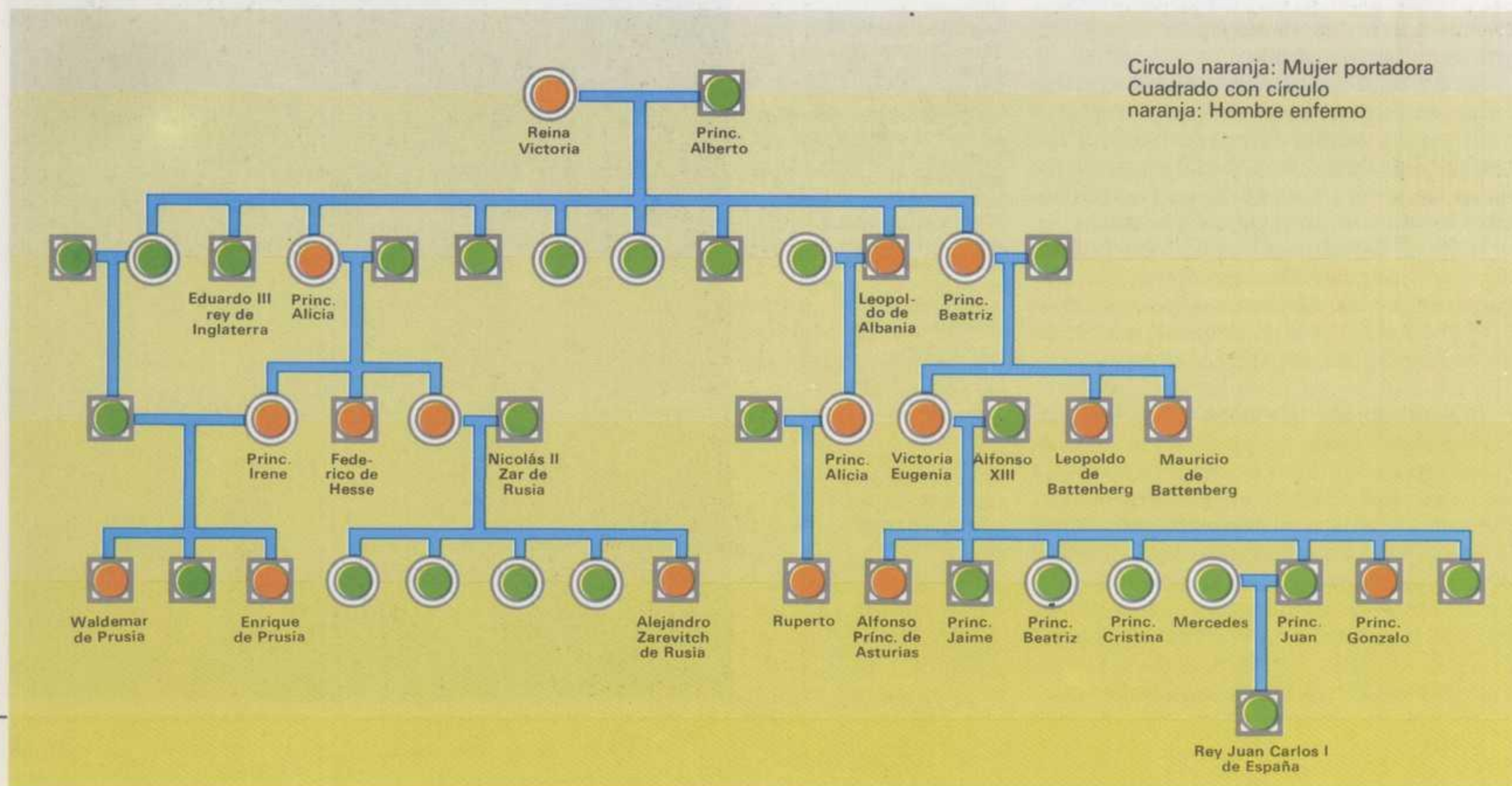
Herencia El ser humano tiene en sus células 23 pares de cromosomas. Los cromosomas representan el material genético que se encarga de transmitir características de padres a hijos. El par 23 lo forman los cromosomas sexuales llamados X e Y. La hembra está dotada del par XX, mientras que el varón lo está del XY. Esto determina todas las diferencias entre los dos sexos.

En la enfermedad que nos ocupa, el déficit de los respectivos factores es dependiente del cromosoma X (enfermedad ligada al sexo). De ahí que se diga que es una enfermedad transmitida por las mujeres, pero que la padecen los hombres. Pero si bien es cierto que la inmensa mayoría de los pacientes son varones, se pueden encontrar hembras portadoras con la actividad del factor de coagulación disminuida e incluso hembras enfermas, aunque constituyen casos excepcionales, porque la mayor parte de los fetos femeninos enfermos no son viables. No obstante, el 40% de los hemofílicos no tiene antecedentes familiares, debiéndose el trastorno a una mutación genética.

El proceso recibió el calificativo de "enfermedad real", dado que la descendencia del matrimonio de la reina Victoria de Inglaterra (1819-1901) con el príncipe Alberto de Sajonia se vio afectada por este cuadro clínico. La tendencia de las familias reales europeas a contraer matrimonio entre sí hizo que esta enfermedad se convirtiera en un azote para muchas de ellas.

Existen de 5 a 6 casos por cada 100.000 habitantes, siendo la hemofilia A cinco veces más frecuente que la B. La tendencia actual es hacia un aumento de los casos, puesto que si antes los hemofílicos morían jóvenes, ahora —gracias a las modernas medidas terapéuticas— las expectativas de vida han aumentado ostensiblemente, llegando a edades avanzadas, lo que lleva implícita la posibilidad de procreación y transmisión a sus descendientes de la enfermedad.

Clínica Como hemos visto, la hemofilia se manifiesta fundamentalmente por la facilidad para sangrar, con escasa tendencia a la autolimitación de las hemorragias. Estas suelen producirse sobre todo



en las articulaciones, y son menos frecuentes en los músculos y en el tejido subcutáneo, apareciendo como consecuencia de traumatismos —a veces mínimos—, dependiendo de la gravedad del proceso. Otras son nasales, urinarias, por cortes, etc. Pueden ocasionar complicaciones importantes, tales como deformaciones articulares que dificultan la movilidad de los miembros, compresiones de vasos y nervios, compresión laríngea con problemas respiratorios, etc. Actualmente una de las circunstancias más incapacitadoras son las lesiones articulares, pero está comprobado que si el enfermo consigue terminar su etapa de crecimiento sin que aparezcan, es difícil que se presenten posteriormente.

Tratamiento En la actualidad se dispone de concentrados del factor deficitario que se administran por vía intravenosa. Con ello ha mejorado manifiestamente el pronóstico de esta enfermedad. Sin embargo, existe la posibilidad de que se presenten complicaciones a causa del mismo, como son: transmisión de hepatitis, aparición de inhibidores (proteínas que neutralizan el factor), SIDA (síndrome de inmunodeficiencia adquirida), etc.

El SIDA es un síndrome de reciente aparición que consiste en la disminución de la capacidad de los mecanismos inmunológicos del organismo. Su pronóstico es muy grave. En 1984, los casos descritos son muy escasos, si bien van en aumento. Además de a hemofílicos, afecta a drogadictos, homosexuales y algún otro grupo de población.

En un futuro no lejano se espera contar con cantidades suficientes de factor coagulante, obtenido sintéticamente o por ingeniería genética, para obviar los efectos secundarios del ahora empleado, que se consigue a partir de la sangre humana.

Véase **Cromosoma; Enfermedad hereditaria; Gen; Genética; Sangre y grupos sanguíneos**

En este esquema se representa de modo simplificado la secuencia de acontecimientos que en condiciones normales determinan la formación de fibrina a partir del fibrinógeno, y la del coágulo a partir de aquella. Los factores de la coagulación se van activando sucesivamente uno a otro, "en cascada", hasta dar lugar al antedicho proceso final. La actividad inicial puede ser llevada a cabo de dos formas distintas: 1) por vía extrínseca, con la participación del factor III, procedente de los

tejidos lesionados (factor tisular), y en consecuencia ajeno a la sangre; y 2) por vía intrínseca, que se pone en marcha por la activación del factor XII, entre otros mecanismos al contactar con determinadas estructuras que quedan expuestas al lesionarse la capa más interna de los vasos. La letra *a* indica que un factor pasa a estar activado. El factor IV es el calcio (Ca^{++}). A partir de la activación del factor X, la vía intrínseca y la extrínseca tienen un final común. Los fosfolípidos son suministrados por las plaquetas.

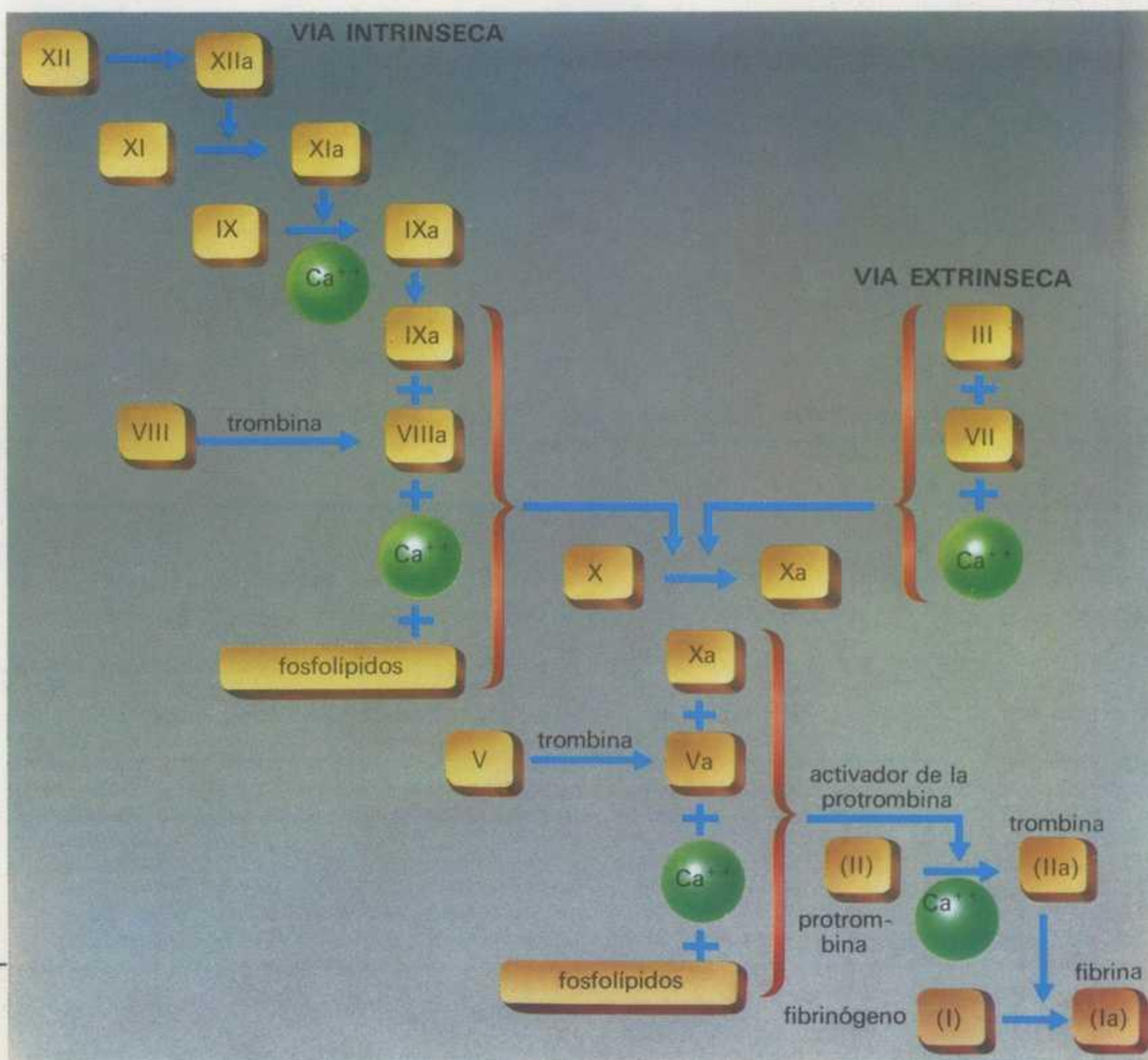
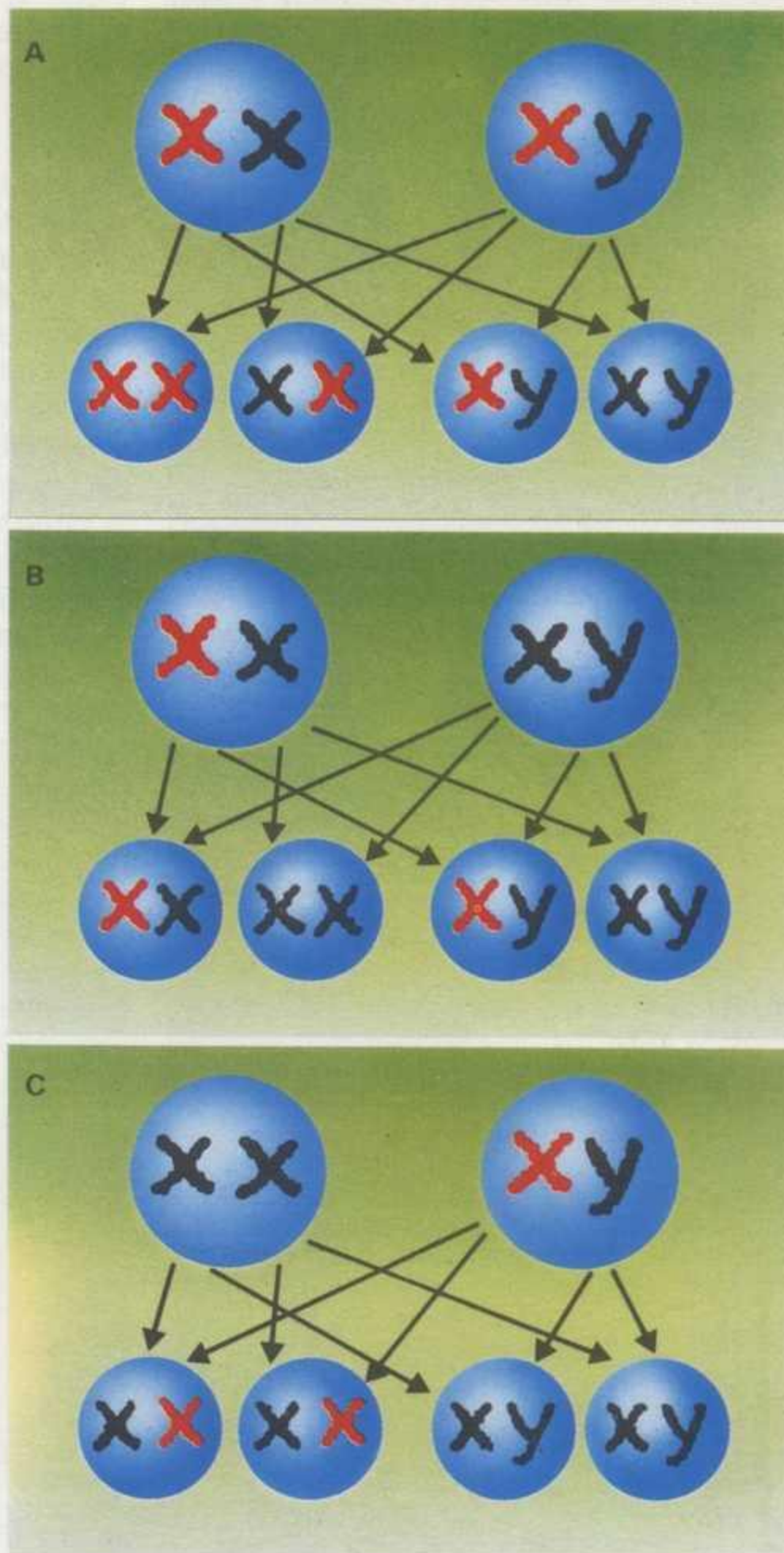
Al producirse la fecundación el hombre proporciona bien un cromosoma X, o bien un cromosoma Y, mientras que la mujer aporta un cromosoma, que siempre será X, para constituir el par. Haciendo las combinaciones pertinentes, la descendencia de ambos será o bien varones (XY) o bien hembras (XX).

Al cromosoma X determinante de la hemofilia lo representamos por X^h . En una pareja la mujer puede ser: XX (sana); X^hX (portadora); o X^hX^h (enferma, muy raro). El hombre: XY (sano); o X^hY (enfermo), ya que en este caso, el cromosoma X^h no puede ser neutralizado por el Y, como ocurre en la mujer portadora, en quien el X^h es neutralizado por su homólogo X, y no padece la enfermedad, aunque puede transmitirla.

A) Descendencia de mujer portadora y hombre enfermo: 50% de hijas enfermas y 50% de hijas portadoras; 50% de varones enfermos y 50% de varones sanos. Estos porcentajes sirven sólo de orientación, pero deben ser aplicados a cada caso por un genetista.

B) Descendencia de mujer portadora y hombre sano: 50% de hijas portadoras y 50% de sanas; 50% de hijos enfermos, con 50% de sanos.

C) Descendencia de mujer sana y hombre enfermo: todas las hijas portadoras, pues el padre siempre les dará el X^h . Todos los hijos sanos, ya que el padre siempre les proporcionará el Y. Del mismo modo podríamos hacer las combinaciones: hembra enferma-varón sano; y hembra enferma-varón enfermo.



Hepatitis

El hígado es uno de los órganos más importantes de nuestro organismo. Contribuye a la depuración de la sangre, almacena energía, neutraliza las sustancias tóxicas y lleva a cabo un gran número de delicadas funciones metabólicas. No debe, por lo tanto, sorprendernos el hecho de que un trastorno de la función hepática suponga un problema serio para el organismo. La *hepatitis* puede definirse como una enfermedad infecciosa o una inflamación del hígado, y habitualmente se identifica gracias a uno de sus primeros síntomas, la *ictericia*, que origina una tinción amarilla de la piel. Aunque existe una gran cantidad de productos químicos, medicamentos y microorganismos que pueden producir hepatitis, la debida a la infección vírica es la más frecuente de todas ellas.

Los virus de la hepatitis Los principales tipos de hepatitis vírica son dos, cada uno de ellos provocado por un tipo distinto de virus. (Los virus están constituidos por un ácido nucleico asociado a una proteína; estos organismos pueden crecer y reproducirse únicamente en las células

vivas de un organismo huésped utilizando su patrimonio genético).

Un virus provoca la hepatitis de tipo A (en otro tiempo denominada *hepatitis infecciosa*) y otro la hepatitis de tipo B (antes llamada *hepatitis sérica*). Ambos tipos de virus atacan al hígado de la misma manera y producen los mismos síntomas, pero el contagio se verifica de diferentes modos, siendo considerado uno un virus más peligroso que el otro.

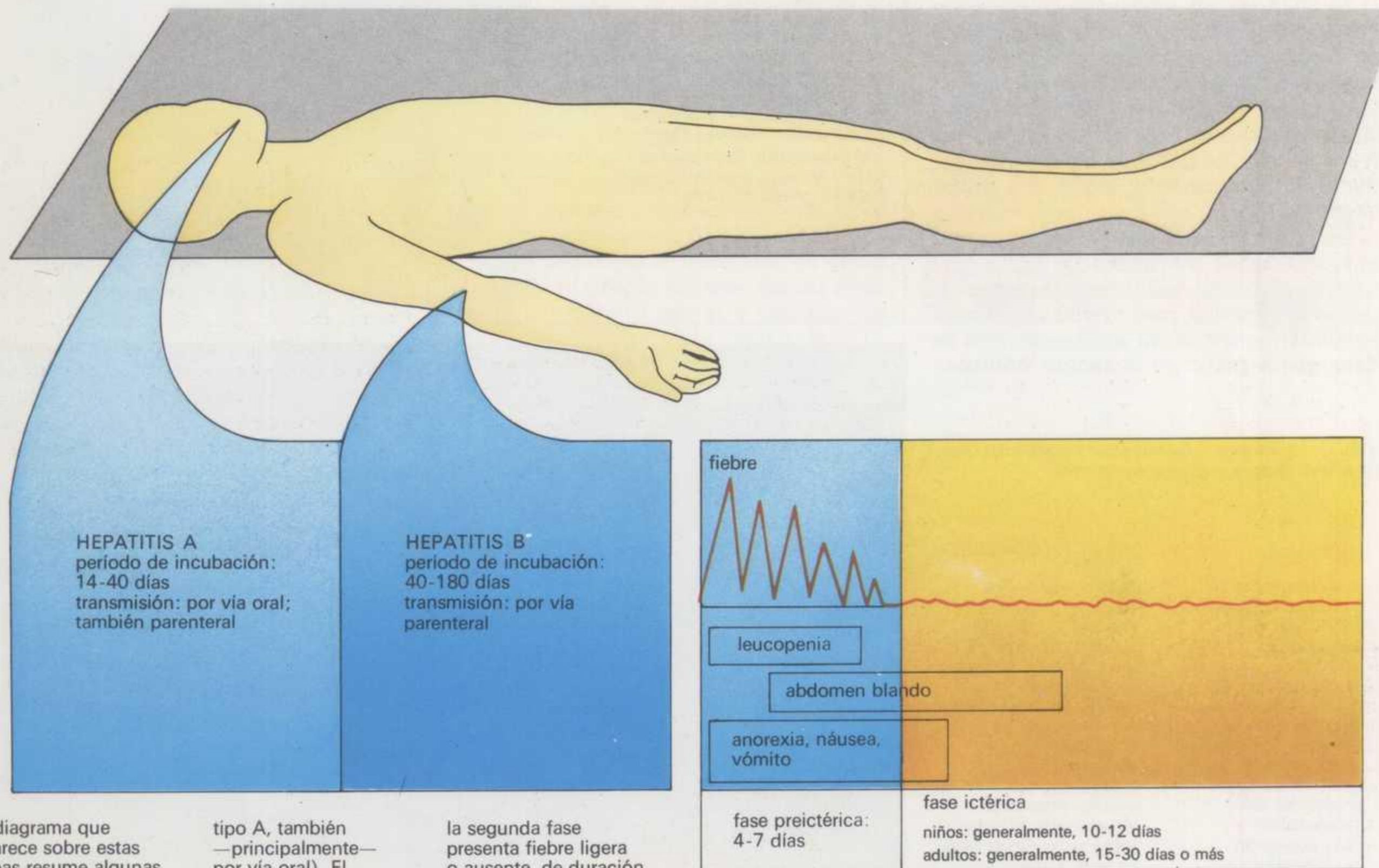
El tipo menos peligroso de hepatitis es el tipo A, cuyo virus se transmite a través de los excrementos humanos. El virus de la hepatitis A puede ser transmitido también por medio de frutas contaminadas, agua y otros alimentos. Una vez que alcanza nuestro organismo, comienza a destruir las células del hígado y, en el transcurso de un mes aproximadamente, la víctima comienza a manifestar los síntomas típicos de esta enfermedad. En algunos casos, sin embargo, estos síntomas pueden ser muy poco manifiestos o francamente inexistentes. La persona que ha contraído una vez la hepatitis queda, sin embargo, inmunizada contra ulteriores ataques por parte del mismo virus.

La hepatitis de tipo B, que a menudo es mortal, se contrae a través de transfusiones de sangre contaminada con el virus. Como norma general, la aparición de los primeros síntomas tiene lugar transcurridos de 2 a 4 meses del contagio.

Los dos tipos de hepatitis pueden ser transmitidos por inyecciones hipodérmicas y a través del tatuaje, si bien esto tiene lugar más frecuentemente con la hepatitis B. En efecto, este tipo de hepatitis está más difundido entre los heroinómanos.

Los síntomas de la hepatitis Los virus invaden nuestro organismo actuando en fases caracterizadas por síntomas diferentes. Cada fase puede durar desde pocos días hasta varias semanas, y el retorno a la normalidad requiere algunos meses. Existen también casos de hepatitis crónica, que vienen a durar como máximo dos años. En tales casos se presenta el peligro de que la hepatitis produzca un daño permanente en el hígado, transformándose en cirrosis que, si es de gran extensión, puede ser fatal.

Los síntomas de la enfermedad son inicialmente comparables a los de una gripe



El diagrama que aparece sobre estas líneas resume algunas características de la hepatitis de tipo A y hepatitis de tipo B concernientes al período de incubación, que oscila entre 40 y 180 días. La transmisión puede tener lugar, para ambos tipos, por vía parenteral (y, en el

tipo A, también —principalmente— por vía oral). El reservorio del virus de la hepatitis es el hombre. Ambos tipos presentan clínicamente una fase preictérica y una fase ictérica. La primera de ellas se caracteriza por fiebre alta y síntomas como anorexia, náuseas y vómitos, mientras que

la segunda fase presenta fiebre ligera o ausente, de duración variable (hasta doce días en los niños y hasta treinta en los individuos adultos). La aparición de la ictericia es indudablemente uno de los signos diagnósticos más importantes para valorar la presencia de una infección hepática;

mientras que, entre las exploraciones de laboratorio, la mayor importancia diagnóstica reside en la determinación de las concentraciones de transaminasas en el suero sanguíneo, que en el caso de la

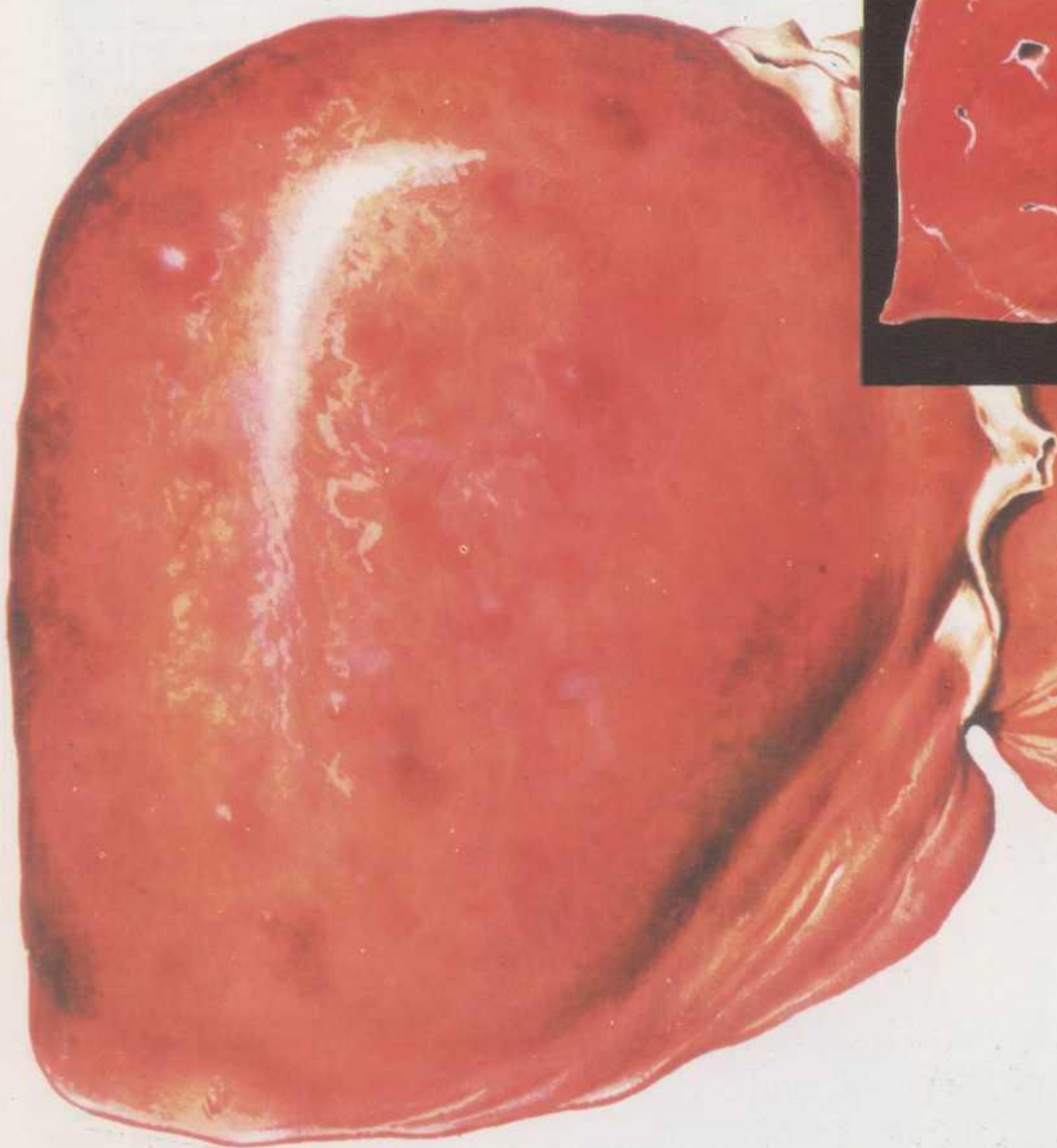
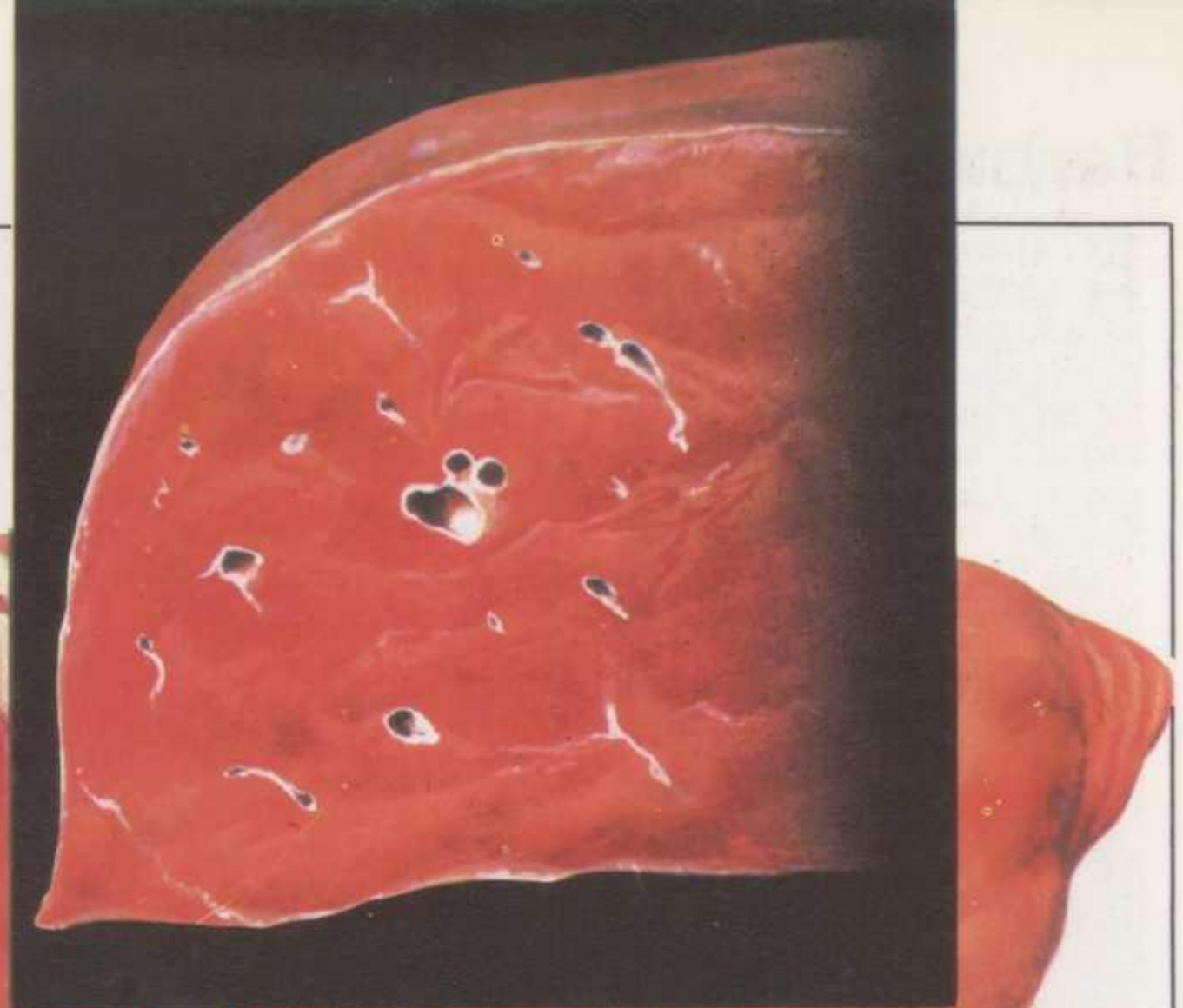
hepatitis experimentan un progresivo aumento. De la hepatitis vírica aguda pueden derivarse distintas situaciones clínicas, entre ellas se encuentra la *cronificación*, actividad de la

enfermedad que puede llevar a una cirrosis posnecrótica, o bien directamente a la muerte; y la *necrosis hepática subaguda*, de la que puede seguirse la curación, la cirrosis posnecrótica o la muerte.

Hígado de un paciente afectado por hepatitis vírica: el órgano aparece aumentado de tamaño, lo cual pone de manifiesto la afectación

generalizada del tejido hepático. En el recuadro de la derecha aparece el detalle de una sección del órgano, que tiene un aspecto congestivo. El

agrandamiento del hígado y la tensión que puede apreciarse a la palpación son signos que pueden persistir incluso en la fase posictérica.



La imagen circular de abajo muestra un hígado *in vivo*, tal como se puede observar mediante un *laparoscopio*, instrumento construido con la tecnología de las fibras ópticas. La introducción del

laparoscopio se realiza a través de la pared abdominal en la cavidad peritoneal, con anestesia local. A su derecha, preparación histológica de tejido hepático tomado mediante biopsia para la demostración

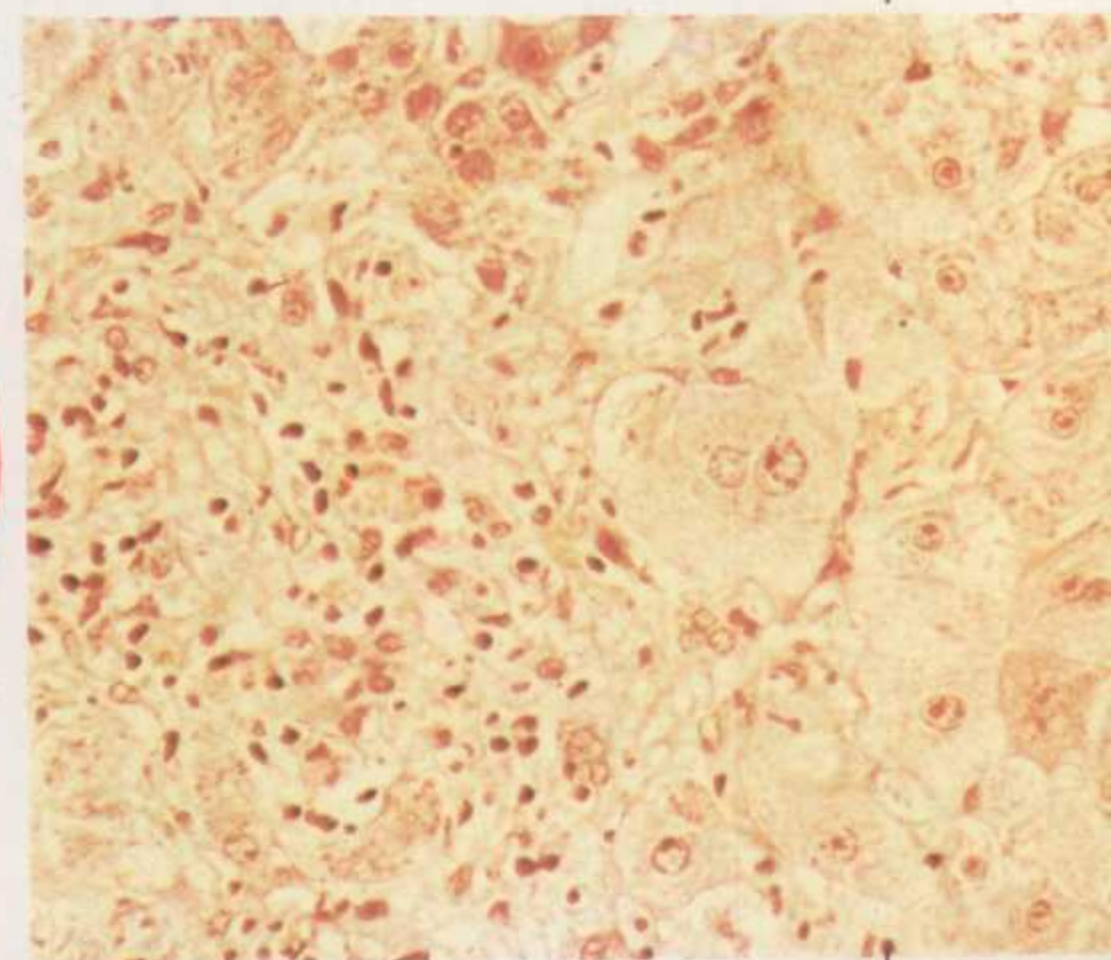
microscópica de la afección tisular en un caso de hepatitis vírica. En la mitad de la izquierda puede observarse un infiltrado inflamatorio, mientras que en la mitad de la derecha de la preparación

se observa el cuadro típico de la hepatitis vírica, con células tumefactas en forma de balón y células que presentan una degeneración hialina. En otras células se observa, por el contrario, necrosis.

El tratamiento La hepatitis es una enfermedad terriblemente debilitante. Su tratamiento implica únicamente el dar al hígado toda la ayuda necesaria para superar los ataques del virus. La convalecencia requiere largos períodos de reposo, principalmente durante la fase aguda de la enfermedad, caracterizada muy frecuentemente por la ictericia. La curación comienza aproximadamente una semana y media después del inicio de la ictericia, y requiere poco más o menos el doble de su duración.

Véase **Enfermedades infecciosas**

común, pero poco a poco la debilidad general se incrementa. De un estado de fiebre asociada a debilidad y escalofríos se pasa a un estado de postración acompañada de náusea continua, dolores en el estómago y agrandamiento del hígado. Los síntomas se presentan con un grado de intensidad variable. Por otra parte, y debido a que el hígado deja de funcionar como filtro de la sangre, la bilis retrocede a la circulación. (La bilis es un líquido amarillo segregado por el hígado, que sirve para la digestión de los alimentos.) A este hecho se debe el tinte amarillento que adopta el globo ocular y a continuación toda la piel; este fenómeno recibe el nombre de *ictericia*. Un poco de bilis pasa también a la orina, que toma en consecuencia una coloración amarilla intensa, naranja e incluso marrón.



Herbario

El ejemplar de un herbario es para un jardín botánico lo que un animal disecado para un zoo. Un herbario, en efecto, es como una biblioteca vegetal, donde los ejemplares muertos son reagrupados según la familia, el género y la especie o según cualquier otro sistema de clasificación.

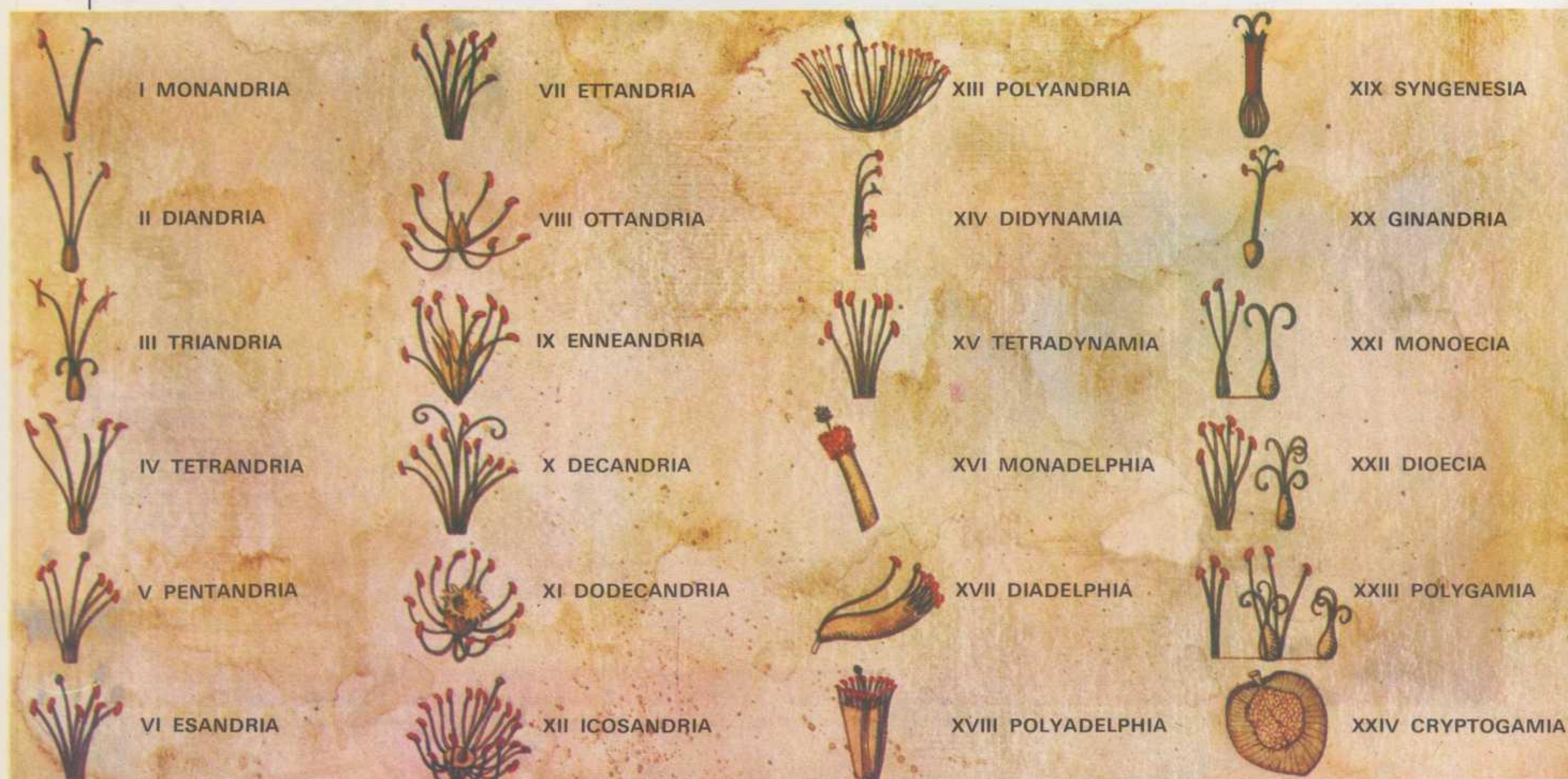
Los fines para los que los estudiosos recogen esos ejemplares son múltiples: confrontar entre sí las plantas, reconocer las especies a las que pertenecen, conservar la memoria de ejemplares en vías de extinción, o también preparar una colección o recoger la documentación de todas las plantas que pueblan una zona de particular interés o pertenecientes a un determinado grupo.

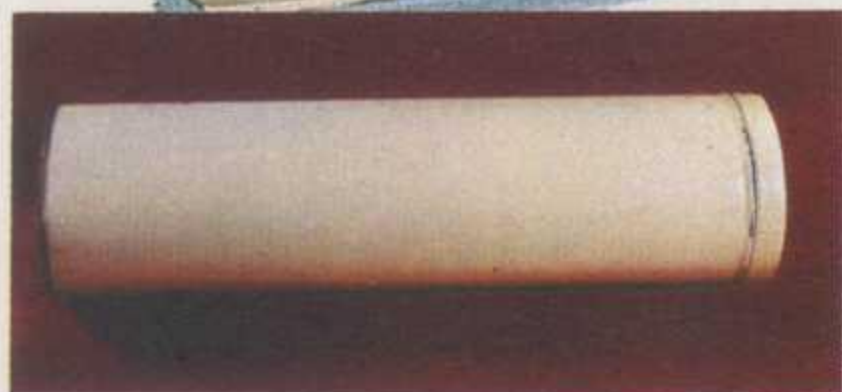
En el mundo existen cerca de 2.000 herbarios importantes, que recogen en conjunto más de 300 millones de ejemplares vegetales. En numerosos departamentos universitarios de Botánica existen herbarios, si bien las colecciones más importantes se encuentran generalmente en los jardines botánicos, muchos de los cuales ofrecen millones de ejemplares en exposición. Entre los herbarios más importantes destacan el del Museo de Historia Natural de París, que recoge cerca de 6 millones y medio de ejemplares; el del Royal Botanic Gardens, de Kew (Gran Bretaña), con más de 5 millones; el del Instituto de Botánica "V. L. Komarov", de Leningrado (URSS); el United States Herbarium, de Washington, y el jardín botánico de Nueva York, que exponen cada uno de ellos más de 4 millones de plantas.

Preparación de los ejemplares Los primeros herbarios fueron preparados en Italia en el siglo XVI y consistían en libros en los cuales las plantas, luego de ser secadas y aplastadas, eran colocadas en las páginas de los volúmenes. Si las dimen-



Los herbarios han tenido una importancia fundamental en los estudios de Botánica, sobre todo en el pasado, al permitir proceder a las primeras clasificaciones facilitando la diferenciación entre sí de las distintas especies vegetales, catalogar los caracteres mediante los cuales es posible realizar una clasificación, etc. Se trata, por tanto, de juntar las especies similares en categorías sistemáticas siempre más amplias y de esa forma ordenar todos los vegetales, aun los que vivieron en épocas precedentes de los cuales se tienen solamente testimonios fósiles. Junto a estas líneas, reproducción de helecho macho extraída del *Código Herbario* de Benedetto Rinio. Abajo, la clasificación Linneana. En la página siguiente, arriba, páginas de un herbario. Cómo coleccionar los vegetales: las plantas apenas recogidas se colocan en un tubo de metal (en el centro), posteriormente se introducen entre hojas de papel (al lado) para que se sequen. A continuación se fijan en hojas apropiadas, escribiendo las indicaciones que se consideren útiles. Las semillas se pueden conservar en tubitos de vidrio. Será útil una lente de aumento.





siones de las plantas eran mayores que las de éstos, los ejemplares, bien protegidos, se recogían en carpetas y se conservaban en cajas metálicas.

Cuando un ejemplar pasa a formar parte de una colección, el botánico señala la fecha y el lugar en el cual la planta ha sido recogida y colocada en el recipiente de forma cilíndrica utilizado para recoger los vegetales en el campo; inmediatamente después se procede, según el tipo de planta, a su preparación para ser conservada. La forma de preparar y conservar las plantas en un herbario varía de unas a otras. Así, para desecar y conservar las plantas fanerógamas, tras ser recolectadas, se colocan entre pliegos de papel secante o de estraza y se someten a presión en prensas especiales; una vez desecadas, es conveniente envenenarlas, sumergiéndolas en una solución alcohólica de sublimado corrosivo al 2-4%, y proceder a su desecación, tras lo cual pueden ya colocarse en los pliegos definitivos con su correspondiente etiqueta. Para desecar algunas fanerógamas del tipo de las orquídeas, plantas crasas, bulbosas, etc., se aplican técnicas especiales. En cuanto a las criptógamas, los musgos y líquenes se conservan desecados al aire o a presión moderada y colocados luego en sobres o pliegos; las algas y los hongos pueden conservarse en solución de formol, aunque éstos se deterioran con el tiempo y es más práctico conservar de ellos secciones finas desecadas al aire. Algunas algas pue-

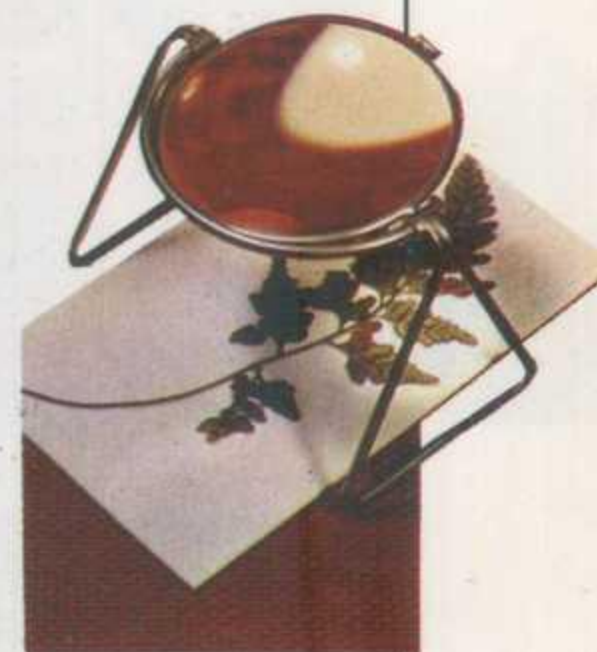


den también conservarse pegadas en pliegos de papel o en láminas de vidrio.

Toda muestra que llega al herbario es identificada mediante una etiqueta en la que se indica el nombre, la fecha y el lugar de recogida, el nombre del recolector y otros datos de interés.

Conservación de un herbario Las piezas más importantes de un herbario son las recogidas por ilustres botánicos o son los ejemplares-tipo de plantas, tomados como modelo para fijar una variedad o una especie vegetal. Normalmente, estas piezas de especial valor se mantienen separadas de las utilizadas con más frecuencia, a fin de disminuir el riesgo de deterioro que se deriva del uso continuo. La Linnean Society de Londres tiene, en sus colecciones, ejemplares recogidos en el siglo XVIII por el botánico Linneo, autor de los principios de clasificación vegetal.

De ordinario, los ejemplares más comunes son ordenados en el herbario siguiendo las subdivisiones en familia, género y especie. Muchos insectos, como el escarabajo de los herbarios, son devoradores de plantas secas; para impedir la destruc-



ción de las colecciones por estos animales, las muestras son tratadas con insecticidas en aerosol (del tipo DDT). Además, cada cierto tiempo se colocan en las casetas de los herbarios sustancias que repelen los insectos. Si la colección de un herbario de grandes dimensiones está bien conservada, puede dar información sobre la flora de todo el mundo.

Los restos fósiles vegetales también se conservan en los herbarios, y pueden ser examinados y confrontados con otros ejemplares a fin de conocer cuáles eran las condiciones ambientales del pasado. Los botánicos, mediante la clasificación de especies nuevas, pueden observar y estudiar los cambios que se han producido en las condiciones climáticas, edáficas, etc., de nuestro planeta.

Los herbarios cumplen además una importantísima función educativa, ya que permiten acercar a un gran público el conocimiento de características en las que difícilmente podría reparar un profano en Botánica.

Véase **Flor; Hoja; Vegetación, mapa de**

Herbicidas

El control del crecimiento de las malas hierbas constituye un problema importante para los agricultores, quienes deben impedir que las plantas no deseadas desplacen a sus propios cultivos. Las formas más comunes de lucha contra las plantas invasoras comprenden el uso de herbicidas, la quema, la siega, el arado y los métodos biológicos.

Las malas hierbas constituyen un problema porque compiten con los cultivos por la absorción del agua, de los elementos nutritivos, de la luz y del espacio sobre el suelo. En general, son plantas de mayor rusticidad que, además de competir con el cultivo, pueden hospedar hongos y bacterias susceptibles de transferirse a las plantas cultivadas, con efectos dañinos para ellas. Para poder controlar la

les, permitiendo por tanto una penetración más fácil del herbicida. En lo que se refiere a las malas hierbas de los pastizales, sus hojas generalmente crecen en posición horizontal, mientras que las de la hierba del pasto son variables, con lo que el líquido pulverizado se deposita de forma natural en proporción mayor sobre las primeras. Además, sus yemas se encuentran en la parte terminal de los brotes, o en las hojas, mientras que las de las especies forrajeras o las de los cereales están a ras de suelo o son subterráneas, por lo que al tratamiento sólo quedan más expuestas las primeras.

Los herbicidas *selectivos* matan determinadas clases de plantas, mientras que los *totales* eliminan todas las especies indistintamente. Los herbicidas selectivos

en contacto con la vegetación, en tratamientos por aspersión, actúan contra especies bien definidas. Estos herbicidas, entre los que se encuentra el ácido sulfúrico, son absorbidos por las hojas. Los herbicidas selectivos conocidos como de *traslocación*, que comprenden los fabricados a base de ácido benzoico, se denominan así porque migran desde las hojas hasta el interior de las plantas que se han pulverizado.

Mientras los herbicidas selectivos que atacan las raíces se aplican en el suelo, los herbicidas totales pueden ser aplicados indistintamente sobre las hojas o en las raíces.

Métodos no químicos Análogamente a los herbicidas, los métodos no químicos

La aplicación de compuestos químicos capaces de eliminar o de reducir el desarrollo de las malas hierbas que invaden los cultivos (a la izquierda) es parte integrante de la agricultura industrializada. El agradable, pero antieconómico, espectáculo (abajo) de un campo de trigo lleno de amapolas está destinado a desaparecer, ya que ésta es también una

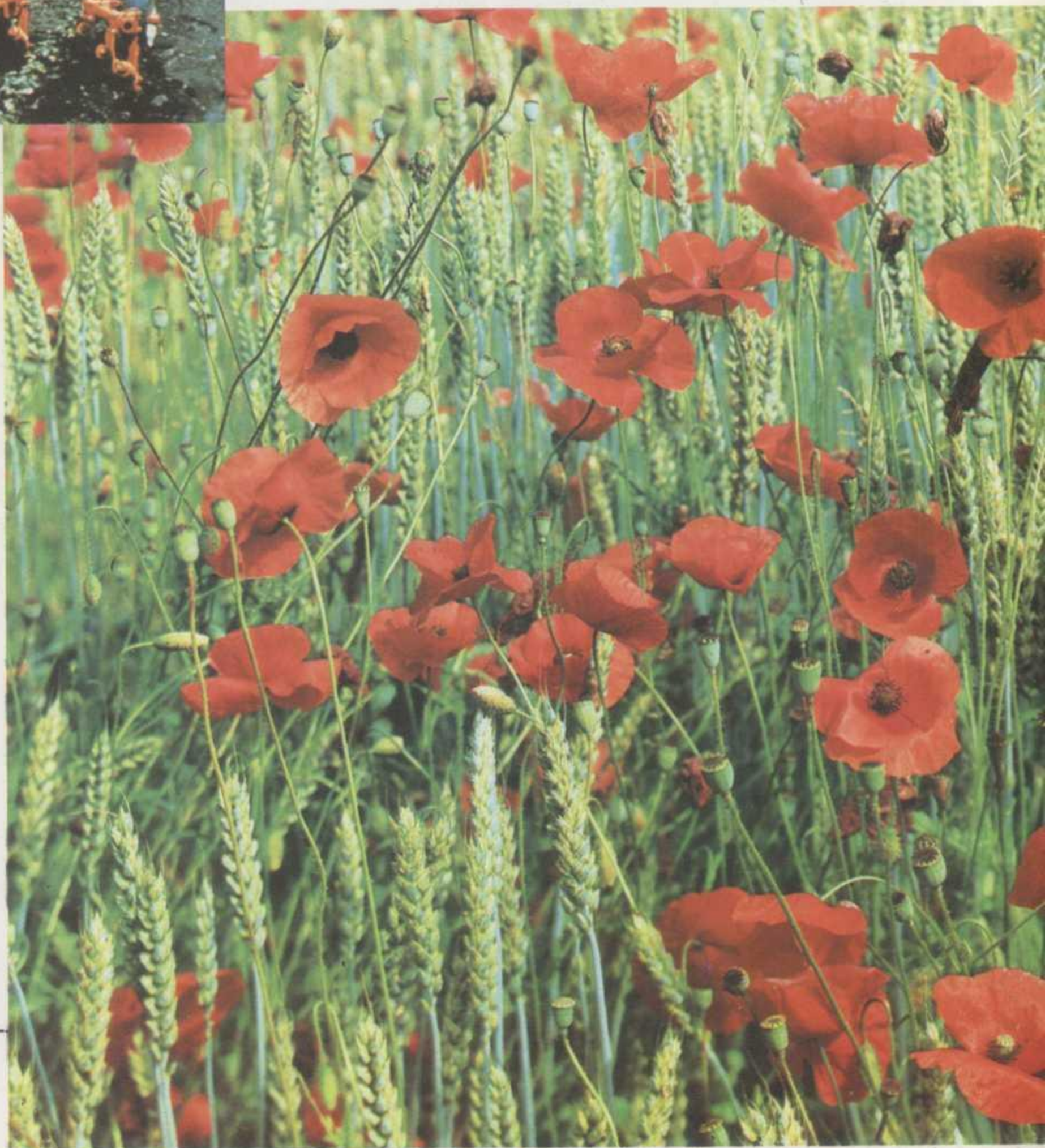
especie invasora, que reduce la cosecha de cereal. Centenares de fórmulas químicas, de distinta toxicidad, se usan en las labores agrícolas. El sistema de aplicación (en la página siguiente, al centro, fumigación mediante helicóptero) varía de una especie a otra y según las regiones. Muchos de los compuestos que se utilizan son selectivos: es decir, actúan sobre la especie invasora sin

dañar apenas o en absoluto a la especie cultivada. En la correcta elección del compuesto y del método de aplicación reside la eficacia del tratamiento. Pero, sin embargo, la desherbización puede perjudicar a la salud humana porque algunos residuos de pesticidas se pueden incorporar al producto destinado al consumo. Por eso, se intenta sintetizar compuestos



especie infestante, el agricultor debe conocer dónde crece, cuándo germinan sus semillas, cuánto tiempo necesitan para madurar, cómo se reproduce la planta y además su distribución y la intensidad de su desarrollo en una determinada área. En las zonas todavía no sometidas a la invasión de las malas hierbas se pueden tomar medidas preventivas contra ellas. Las partes de la planta intrusa, tanto aéreas como subterráneas, así como sus semillas, pueden ser destruidas o simplemente modificadas con el fin de disminuir su efecto dañino sobre los cultivos.

Herbicidas La aplicación de herbicidas selectivos para el control de las malas hierbas en los cultivos de cereales ha sido empleada desde su aparición en 1896. Actualmente este método se ha desarrollado hasta tal punto que los herbicidas pueden atacar especies determinadas de hierbas invasoras a menudo antes de que se desarrolle su parte aérea (estos herbicidas se conocen como de *prefloración*). Según los efectos de su acción, los herbicidas pueden ser *selectivos* o *totales*; y por la zona de aplicación, *foliares* o *edáficos*. Poniendo gran cuidado para no dañar a la especie que se quiere proteger, las plantas invasoras pueden ser atacadas de diversas maneras; a veces tienen hojas menos resistentes que las plantas úti-



controlan el crecimiento de las malas hierbas destruyendo las partes aéreas (lo que impide la producción de semillas y debilita las raíces y los tallos subterráneos) o aniquilando la parte radicular. Las semillas pueden ser eliminadas por quema o también por siega con la hoz. La mejor solución es la siega de la hierba cuando está en flor, pues en ese momento todavía no se han formado las semillas. Un método tradicional muy popular es el del pastoreo de ovejas, o mejor de cabras, sobre las malas hierbas. Para atacar las partes enterradas, el cavado a mano es un método utilizado a menudo en los jardines y en los huertos. A escala más amplia, podrían utilizarse cultivos "asfixiantes" como el cáñamo, el trébol, la soja, el sorgo y el girasol, que cuentan con extensos sistemas

radiculares y partes apicales bien pobladas que pueden competir con las malas hierbas por la luz y por la absorción del agua, impidiendo el crecimiento de nuevas plantas. En lo que se refiere a métodos de lucha biológica, se emplean bacterias u hongos parásitos de las malas hierbas. Este método, como muchos otros no biológicos, a menudo es también nocivo para las plantas útiles. De hecho, cuando el "predador" biológico ha agotado todas las sustancias nutritivas presentes en las malas hierbas, puede atacar a las plantas a las que se pretende proteger.

Véase **Agricultura; Defoliantes**



→ de una menor toxicidad o encontrar soluciones alternativas. Entre éstas se encuentra la conocida alternancia de cultivos mediante especies que "ahoguen" las malas hierbas, como el cáñamo, la soja, el trébol y el girasol. La desherbización es necesaria también para mantener limpios de hierbas los márgenes

de canales de regadío y de navegación. Aquí, arriba, son evidentes los efectos de un tratamiento contra las hierbas de las orillas. También para estas aplicaciones se intenta

encontrar alternativas de menor toxicidad. Sobre estas líneas, una tabla con los agentes herbicidas más conocidos,

su nombre común y el modo de actuación sobre las plantas.

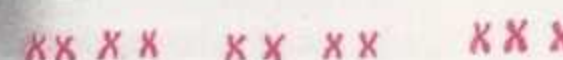
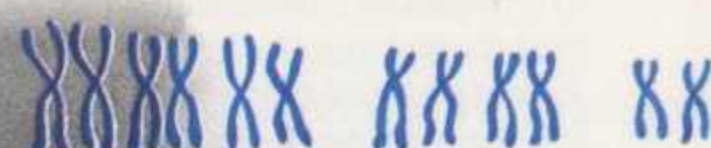
HERBICIDAS		
4,6-dinitro-2-metilfenol	DNOC	actúa como herbicida selectivo
3-(p-clorofenil)-1,1-dimetilurea	Monuron CMU	actúa sobre las plantas pequeñas
5-bromo-3-butil-6-metiluracilo	Bromacilo	actúa como esterilizante del suelo

Herencia

Cuando los padres miran por primera vez a su hijo recién nacido, ya observan detenidamente sus facciones buscando algún parecido con ellos mismos. Al ir el niño creciendo, se escucha con frecuencia hablar de su parecido con el abuelo o con una tía u otros parientes consanguíneos. En efecto, el parecido de cada individuo con sus parientes es un hecho fácilmente constatable, resultado de la herencia biológica, o transmisión de generación en generación de las semejanzas entre parientes.

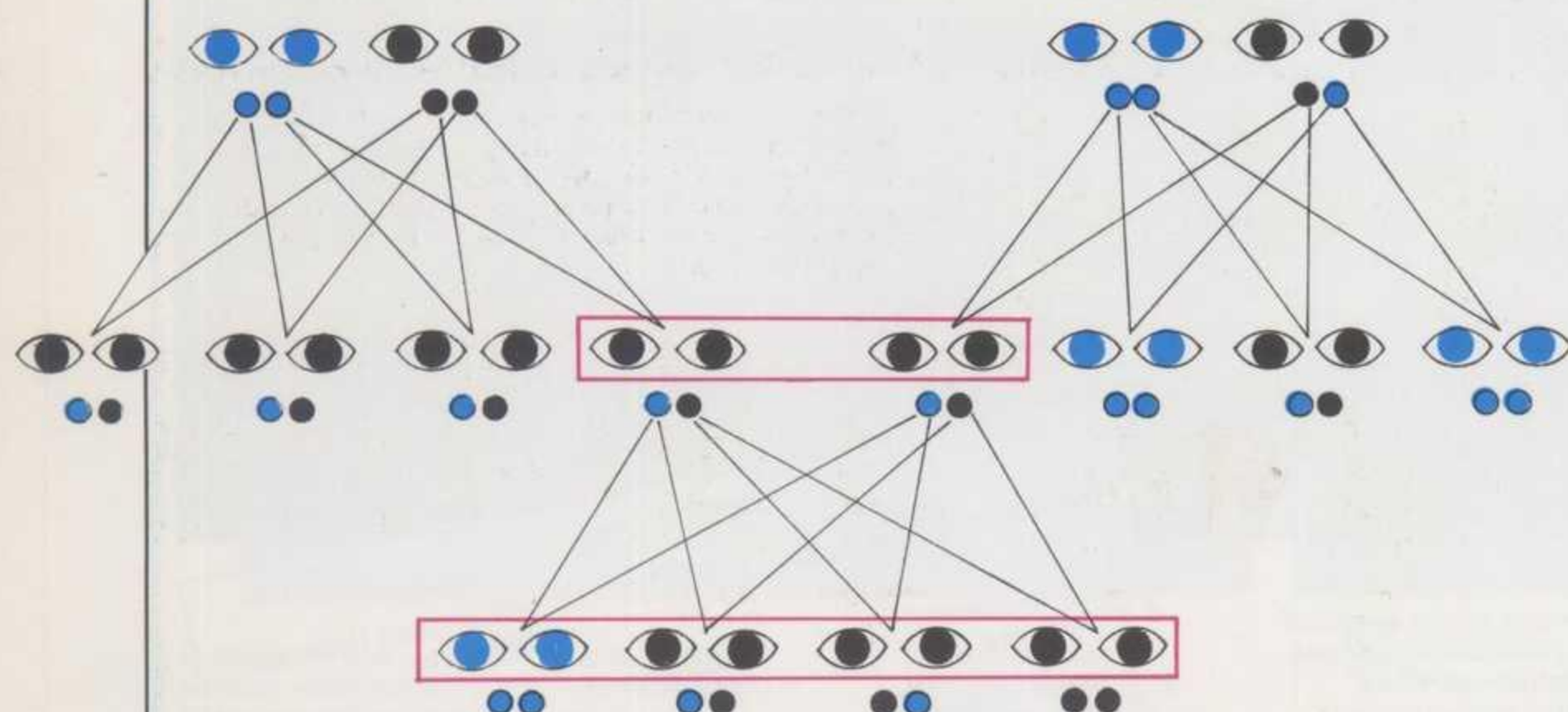
Desde tiempos prehistóricos los hombres se han dado cuenta de la fuerza e importancia de la herencia. Aun sin conocer el fundamento científico de lo que hacían, practicaron los cruces entre ejemplares elegidos deliberadamente como progenitores para lograr razas nuevas de animales domésticos, como perros, gallinas, ovejas, etc. Todas las razas domésticas actuales provienen de especies salvajes a las que el hombre ha aplicado los apareamientos controlados. También se aplicó desde antiguo la selección artificial, basada en la herencia, para mejorar ciertos caracteres de interés estético o económico. Por ejemplo, ya los antiguos pastores favorecían el apareamiento entre ovejas que tuvieran mucha lana para que sus descendientes produjeran más lana. Del mismo modo, los campesinos tratan de obtener bueyes más fuertes, ganado más productivo o perros guardianes más feroces cruzando entre sí individuos con las características deseadas.

La reproducción sexual en las plantas tardó más en ser descubierta; precisamente, el mecanismo exacto de la herencia no llegó a ser entendido hasta el siglo XIX, cuando el monje austriaco Gregor Mendel estudió los resultados de ciertos cruces experimentales entre cepas de guisantes. Su trabajo, olvidado durante decenios, se



convirtió más adelante en la base de la Genética moderna. Usando potentes microscopios y sofisticadas técnicas de laboratorio, los científicos actuales han elucidado el mecanismo de la herencia.

Cromosomas y gametos Todos los seres vivos constan de una o muchas células. Se conocen hoy dos clases de células: con núcleo interno, como las células de los animales y las plantas, o sin núcleo, como las células bacterianas. En el núcleo de las células que lo poseen pueden observarse unas estructuras filamentosas o *cromosomas*. Los cromosomas contienen una importante sustancia química llamada *ácido desoxirribonucleico*, o ADN. El ADN, portador de la herencia biológica, es capaz de dirigir su propia síntesis, dando réplicas de la molécula inicial, y también "da instrucciones" a la célula acerca de la fabricación de las proteínas, compuestos

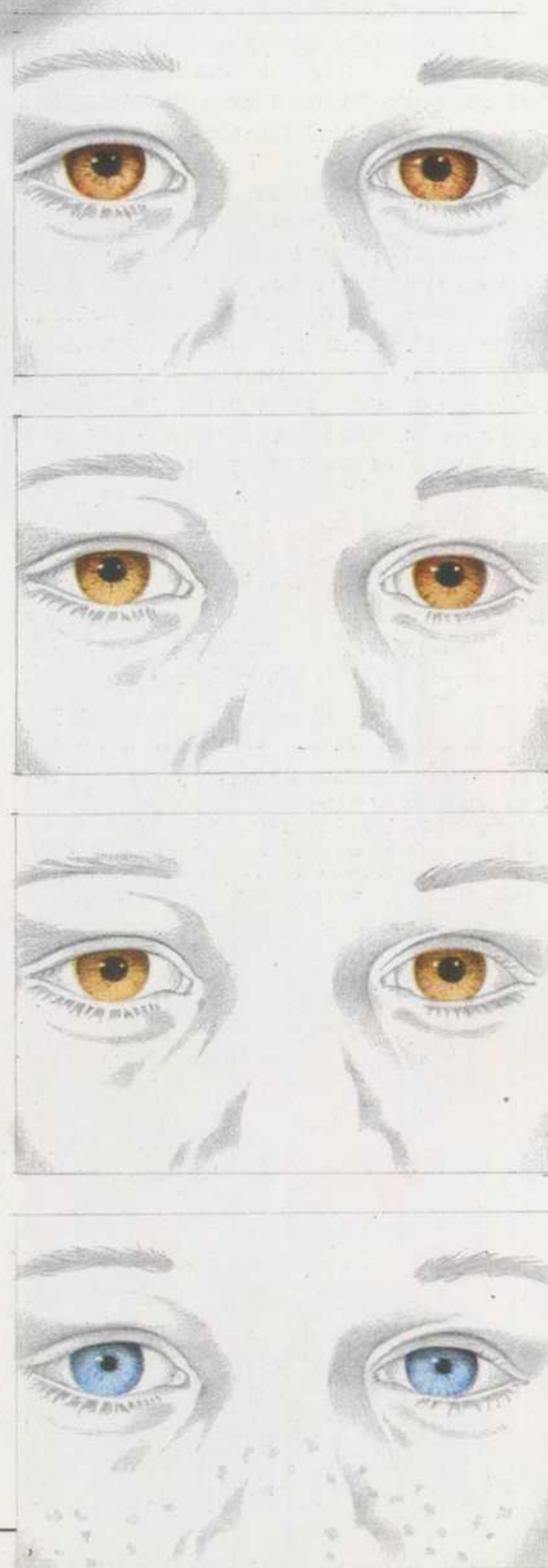


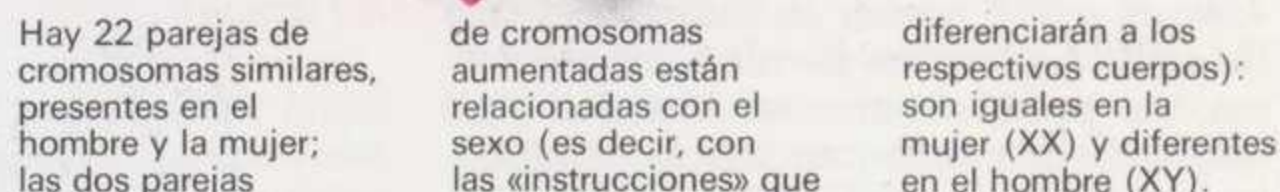
Color de los ojos: su herencia a lo largo de tres generaciones. Los genes se representan por los círculos azules o negros que hay debajo del esquema de los ojos del individuo. Arriba, a la izquierda, un abuelo tiene los dos genes para ojos

azules, y el otro, ambos para ojos negros; se dice que los dos abuelos son homocigotos. Como el color negro es dominante sobre el azul, todos los hijos tendrán los ojos negros, pero serán heterocigotos, es decir,

que tendrán un gen para ojos oscuros y otro para ojos claros. A la derecha: la abuela es homocigota de ojos azules; el abuelo es de ojos oscuros, pero heterocigoto. La mitad de sus hijos tendrá los ojos azules y la otra mitad los ojos

oscuros, siendo heterocigotos. Si dos hijos heterocigotos, de ojos negros, tienen descendencia, sólo tres de cada cuatro nietos tendrán los ojos negros; y uno de cada cuatro, azules (aunque sus padres no los tengan de ese color).





En las plantas y animales, cuyas células tienen núcleo, la transmisión de los caracteres hereditarios, o genes, está relacionada con los cromosomas, presentes en el núcleo. Cada especie tiene un número fijo de cromosomas; en el hombre son 46. Sobre estas líneas están esquematizados los cromosomas humanos.

dividuo, hermafrodita, produce tanto óvulos como espermatozoides. En estas últimas especies es posible que el cigoto provenga de la fusión de un óvulo y un espermatozoide producidos por el mismo y único progenitor, aunque también es posible —y obligatorio en las especies de sexos separados— que provenga de una fecundación cruzada.

Cuando se da fecundación cruzada, el descendiente recibe del progenitor que actuó como macho la mitad de sus cromosomas, y por tanto de sus "instrucciones hereditarias", y del progenitor hembra la otra mitad de cromosomas e "instrucciones". Cabe, por tanto, la posibilidad de una *interacción* entre las "instrucciones" paternas y maternas en el nuevo individuo. Por ejemplo, aunque el guisante no presenta sexos separados, Mendel practicó en algunos de sus experimentos una fecundación cruzada artificial. Cuando cruzó entre

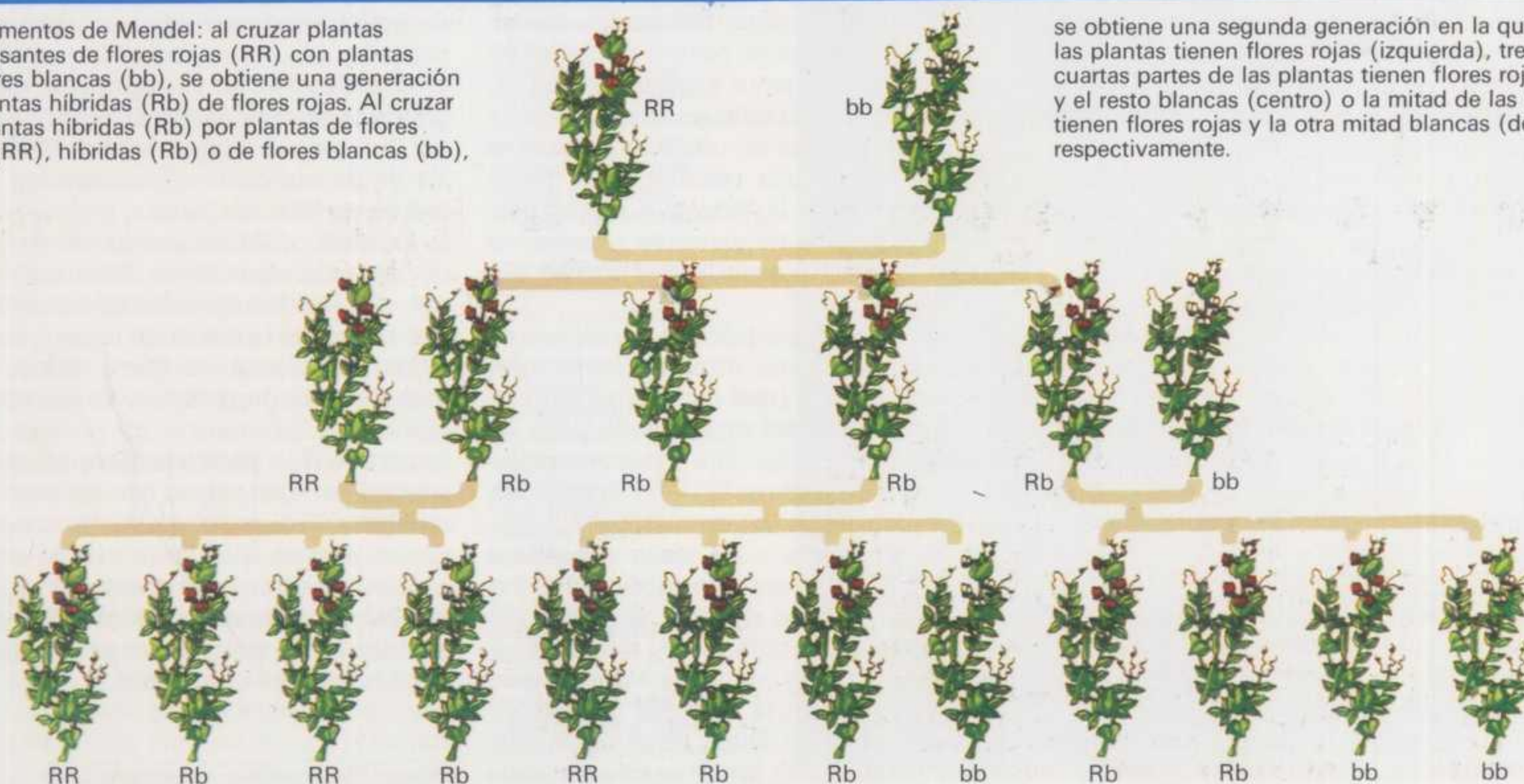
de cromosomas aumentadas están relacionadas con el sexo (es decir, con las «instrucciones» que

diferenciarán a los respectivos cuerpos): son iguales en la mujer (XX) y diferentes en el hombre (XY).

sí plantas de guisantes bajas, todos los descendientes resultaron bajos. Cuando cruzó plantas altas con plantas bajas, la descendencia constaba de plantas altas. Mendel dedujo que estas plantas habían recibido tanto las "instrucciones" para el carácter "alto" como las correspondientes para el "bajo", pero el carácter "alto" era dominante sobre el "bajo", que, al ser recesivo, sólo puede observarse en la descendencia de plantas bajas. Aunque Mendel no podía saberlo, ya que en su tiempo se ignoraba por completo el mecanismo molecular de la herencia, la dominancia-recesividad resulta de la interacción entre los productos de los segmentos homólogos de ADN presentes en una pareja de cromosomas similares.

Véase Cromosoma; Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Evolución; Fecundación e inseminación artificial; Gen; Genética; Híbridos

Experimentos de Mendel: al cruzar plantas de guisantes de flores rojas (RR) con plantas de flores blancas (bb), se obtiene una generación de plantas híbridas (Rb) de flores rojas. Al cruzar las plantas híbridas (Rb) por plantas de flores rojas (RR), híbridas (Rb) o de flores blancas (bb),



se obtiene una segunda generación en la que todas las plantas tienen flores rojas (izquierda), tres cuartas partes de las plantas tienen flores rojas y el resto blancas (centro) o la mitad de las plantas tienen flores rojas y la otra mitad blancas (derecha) respectivamente.

Herpes

La infección por el virus del herpes, o virus de la familia de los *Herpes virus*, constituye una patología que se manifiesta con asiduidad en individuos con una situación sanitaria debilitada o que están atravesando períodos de particular *stress* emotivo y psicológico.

Incidencia del herpes Aproximadamente el 90% de los individuos son infectados por el virus del herpes simple de tipo 1, si bien solamente la mitad de ellos llega a desarrollar las vesículas asociadas a esta infección. Un americano de cada cinco es infectado por el virus del herpes simple de tipo 2, o herpes genital, que es la forma más frecuente de enfermedad venérea. Dentro de la sexta década de la vida, el 1,80% de los individuos adultos ha sufrido infección por el citomegalovirus, que produce síntomas similares a los que aparecen en formas ligeras de mononucleosis. Cerca del 1,85% de los niños se ha visto infectado por el virus de Epstein-Barr, que puede originar la mononucleosis.

Esta impresionante relación de estadísticas indica que los virus de la familia de los *Herpes virus* originan en los seres humanos más enfermedades que cualquier otro grupo viral. Los virus de esta familia se encuentran además en casi todas las especies animales. Sin embargo, a pesar de esta difusión casi universal, no se conoce hasta ahora un tratamiento específico para la infección provocada por los *Herpes virus*.

Una cierta tranquilidad puede derivarse del hecho de que la mayor parte de estos virus afecta a individuos de edades jóvenes y provoca síntomas de poca entidad. Por otra parte, un individuo afectado por la infección herpética puede fácilmente no manifestar ningún síntoma.

Comportamiento de los virus de la familia de los *Herpes virus* Los virus están constituidos por un núcleo de ácido nucleico revestido por una estructura proteica. El ácido nucleico puede ser ADN o bien ARN. Estos organismos pueden multiplicarse sólo en el interior de las células vivas de un organismo huésped.

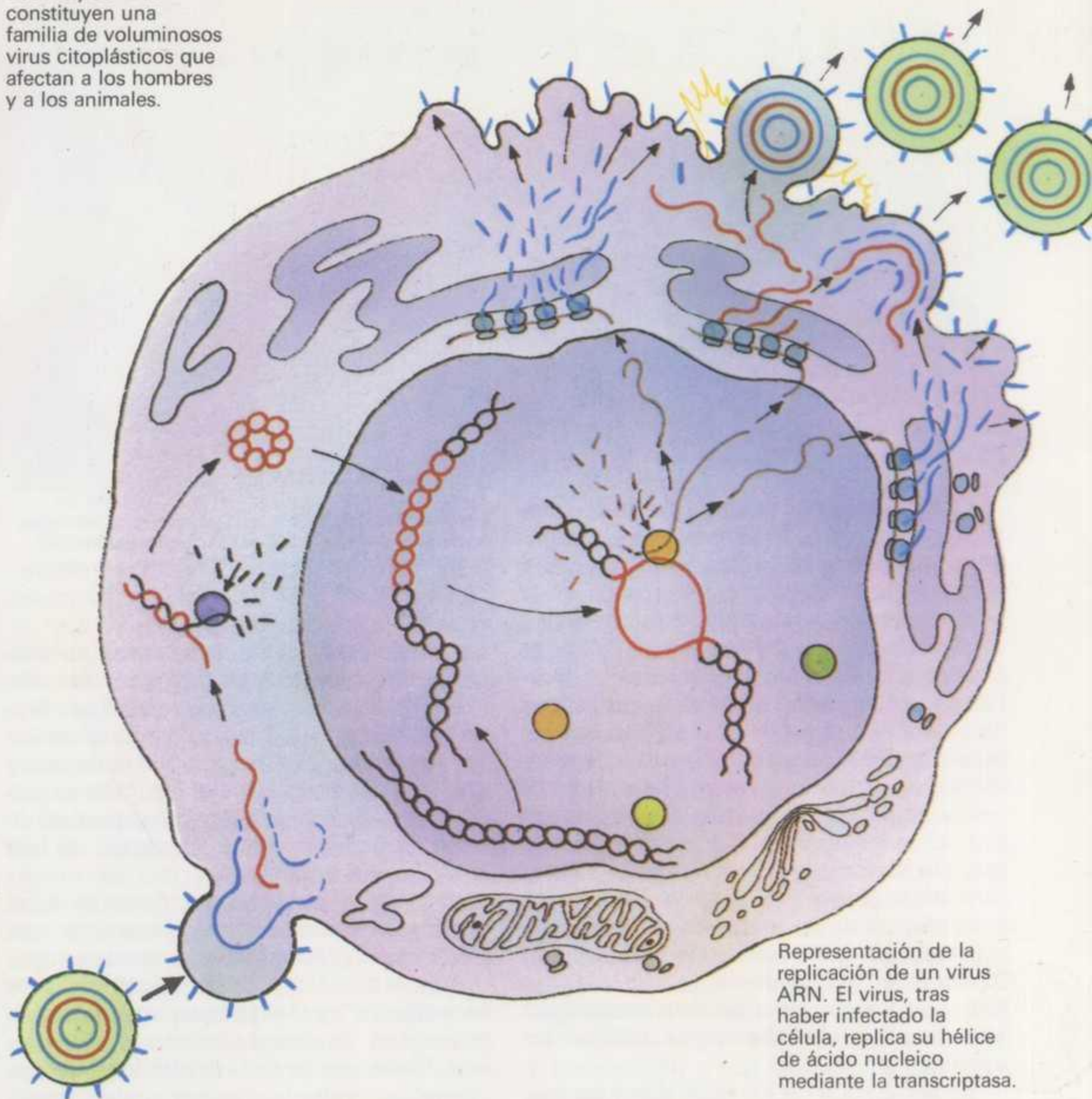
Los distintos grupos de virus, como los de la familia de los *Herpes virus*, se clasifican según su origen, según los efectos que provocan en el organismo infectado y según las modalidades de difusión.

La exposición a los virus de la familia de los *Herpes virus* puede tener lugar de muchas formas distintas; con frecuencia, la exposición se realiza por contacto directo con una persona en fase de infección activa (como es el caso del herpes simple) o bien por transmisión a través del ambiente.

El virus *Varicela zoster*, que provoca la varicela en los niños y erupciones herpéticas en los adultos, puede ser transmitido a través del aire si la infección se encuentra en su fase de actividad.

Los numerosos virus de la familia de los *Herpes virus* tienen estructuras y funcio-

Los *Herpes virus* constituyen una familia de voluminosos virus citoplásmicos que afectan a los hombres y a los animales.

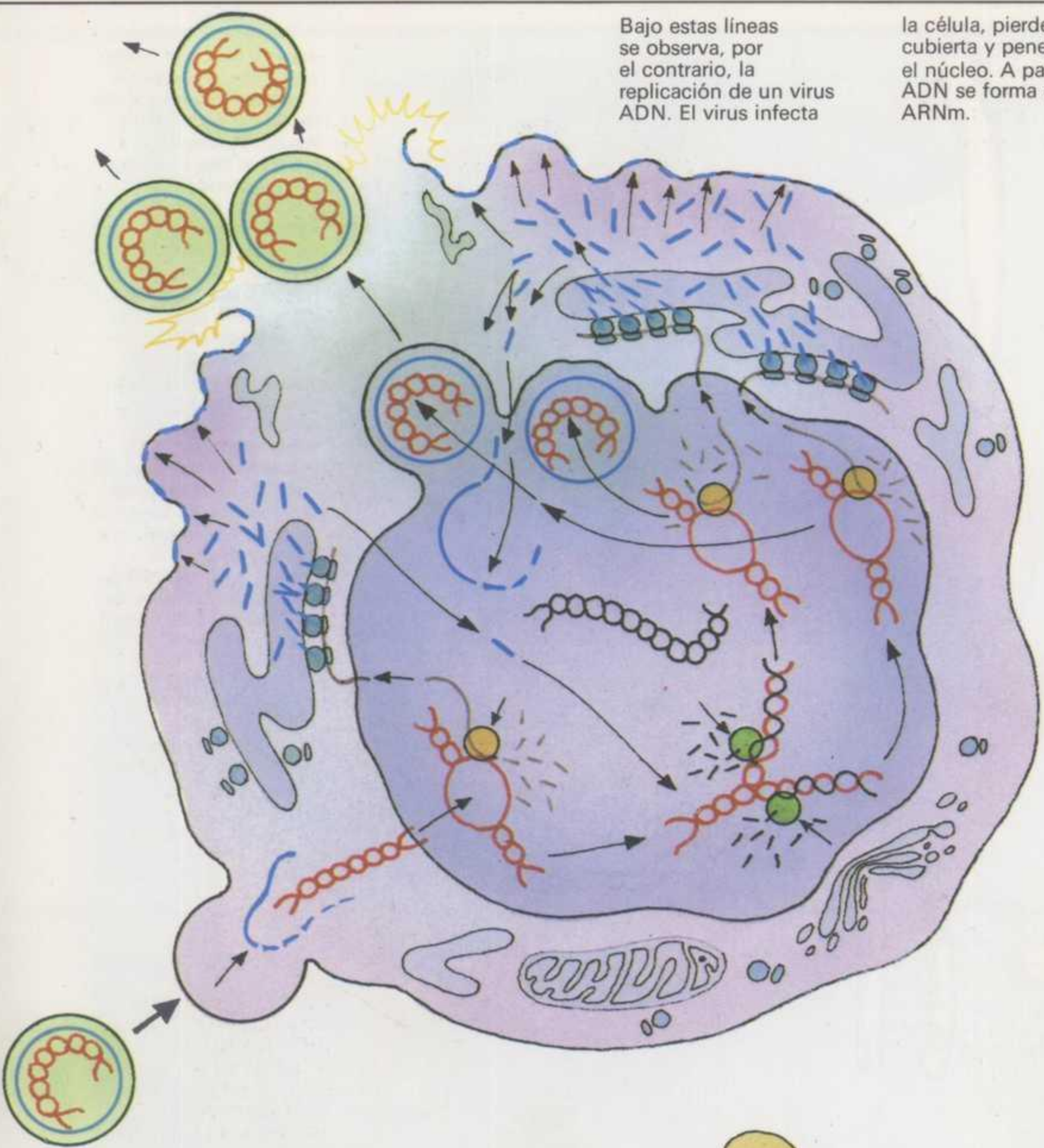


nes distintas; sin embargo, la acción que ejercen sobre las células es muy similar. Cuando un virus ataca a una célula humana normal, se introduce en su sistema genético, utilizándolo para la producción de virus hijos. Este aprovechamiento de la maquinaria genética de la célula por parte del virus se traduce habitualmente en la muerte de la célula, pero a veces el virus y la célula llegan a establecer una relación huésped-parásito en la que la célula hospeda al virus en una forma inactiva o latente. Estos virus residen en el huésped durante toda la vida, y a veces provocan infecciones recurrentes, como en el caso del herpes simple y del herpes genital.

Algunos virus herpéticos se alojan en los glóbulos blancos, otros en las células del tejido epitelial (que reviste las cavidades y conductos del organismo); pero las modalidades con las que estos virus llegan a hacerse activos no son conocidas. La mayor parte de los conocimientos disponibles se refiere a los virus herpéticos que afectan al sistema nervioso, es decir, los virus del herpes simple (responsables de las erupciones cutáneas y de las erupciones genitales) y los virus *Varicela zoster* (que provocan la varicela y erupciones de tipo zoster). Estos virus se desplazan a lo largo de las fibras nerviosas hasta

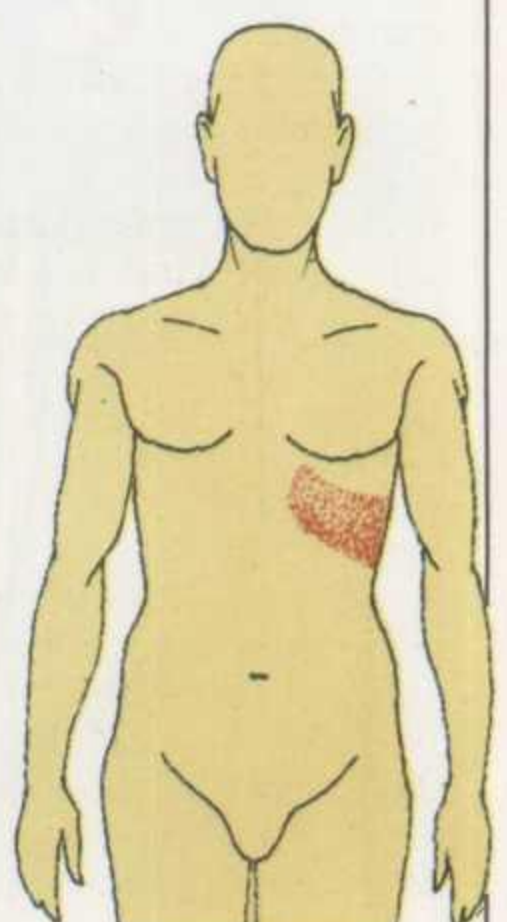
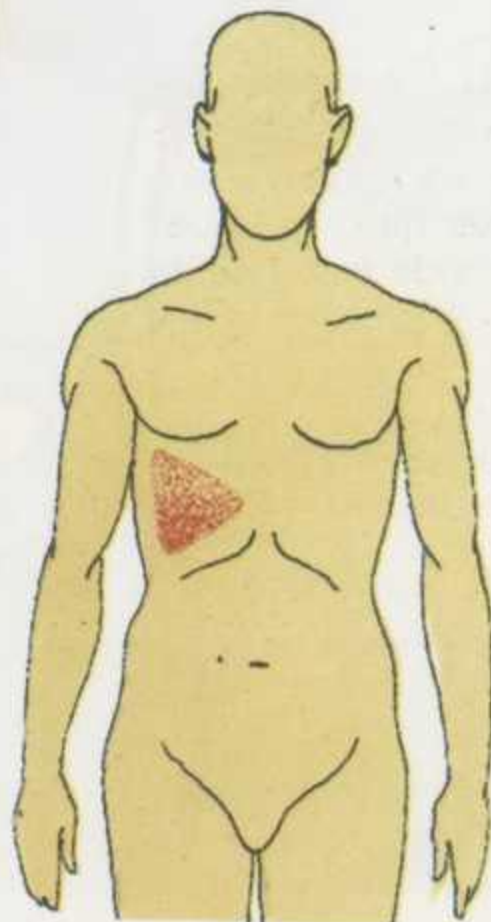
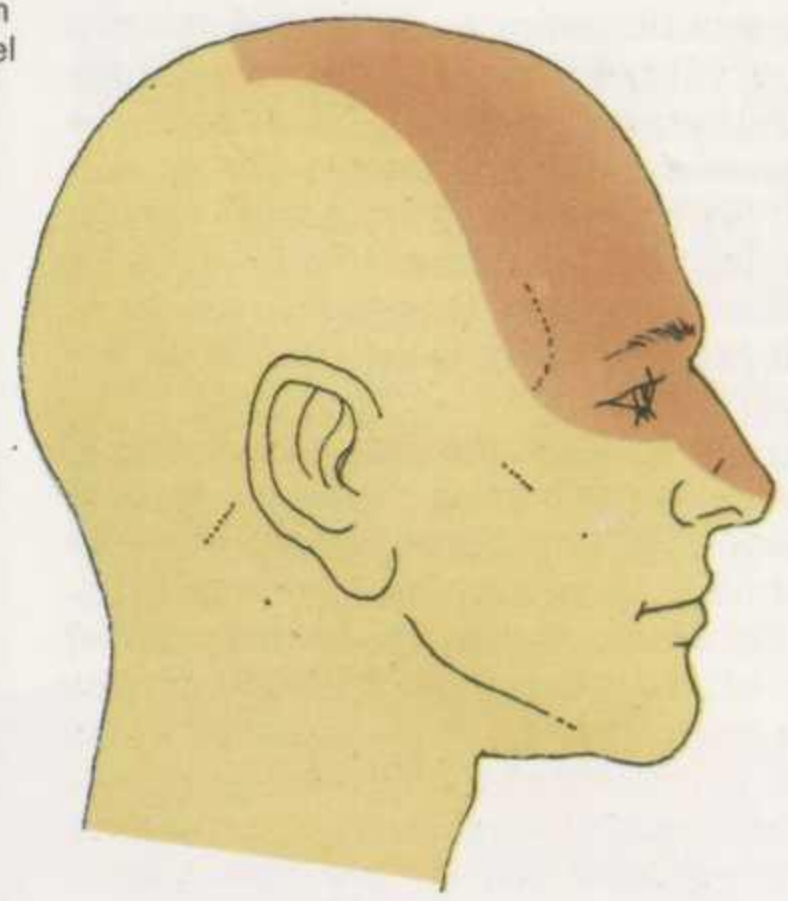
establecer su residencia en los ganglios nerviosos. Si la persona infectada es susceptible de experimentar recaídas como consecuencia de estados de *stress*, enfermedades u otros factores que alteran las defensas orgánicas, el virus sale de su fase latente y se manifiesta clínicamente. Cuando esto tiene lugar, el virus vuelve a desplazarse a lo largo de las fibras nerviosas y a localizarse en la superficie causando la infección, ya sea originando las vesículas del herpes simple o bien provocando las vesículas del zoster, como es el caso del virus *Varicela zoster*.

Existen pruebas acerca de la relación de algunos virus de la familia *Herpes virus* con ciertas manifestaciones cancerosas. Cerca de la mitad de las mujeres afectadas por cáncer de útero muestra síntomas de virus herpéticos. En las investigaciones de laboratorio ha podido ser demostrado que para transformar una célula normal en cancerosa es necesario sólo una pequeña parte de la información genética portada por los virus de esta familia. Se debe tener presente, sin embargo, que no existe una demostración segura de que los virus herpéticos provoquen cáncer en los seres humanos.



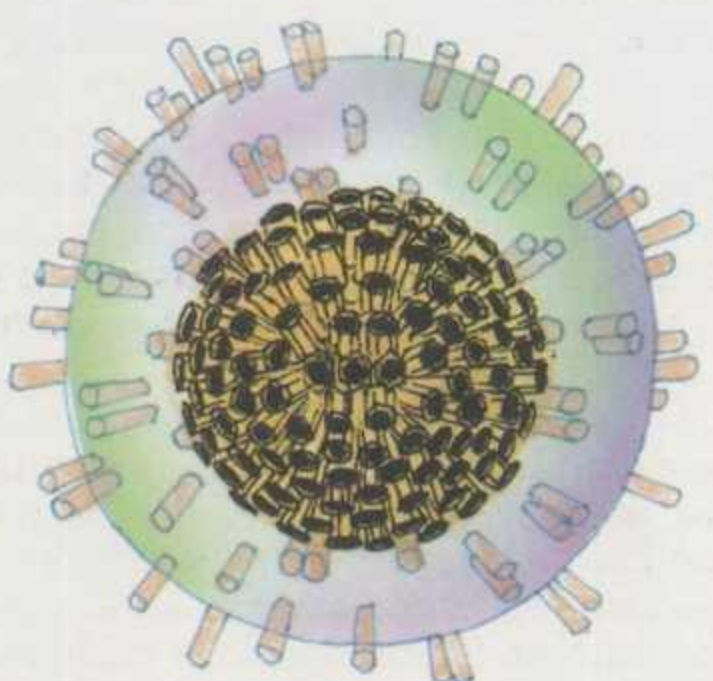
Bajo estas líneas se observa, por el contrario, la replicación de un virus ADN. El virus infecta

la célula, pierde su cubierta y penetra en el núcleo. A partir del ADN se forma el ARNm.



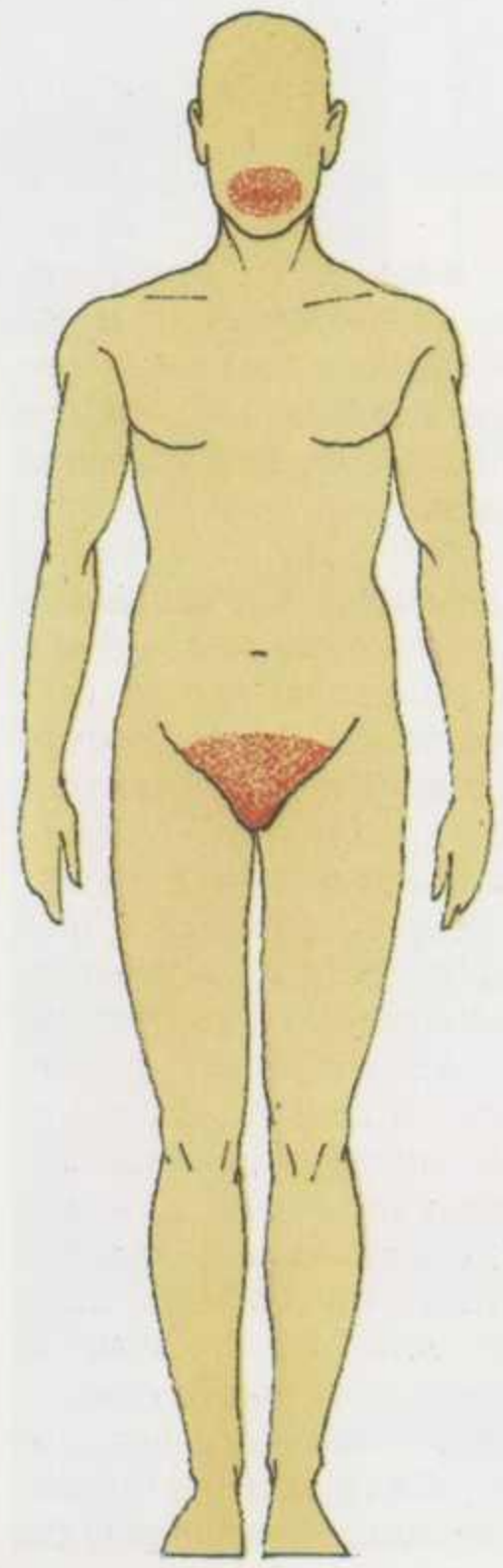
La lesión de la rama oftálmica por parte del virus del *Herpes zoster* puede originar queratoconjuntivitis con afectación de la capacidad visual (figura del ángulo

superior derecho). En el citado *Herpes zoster*, la erupción vesiculosa aparece principalmente en las zonas cutáneas inervadas por los nervios costales.



Sobre estas líneas, *Herpes virus* (dibujo esquemático): estos virus poseen una cápside de simetría cúbica y una pericápside con dimensiones globales de cerca de 150 nm. La cápside, que está constituida por 162 subunidades, llamadas capsómeros, contiene en su interior ADN de doble hélice, proteínas y fosfolípidos. Se conocen dos tipos de virus del herpes

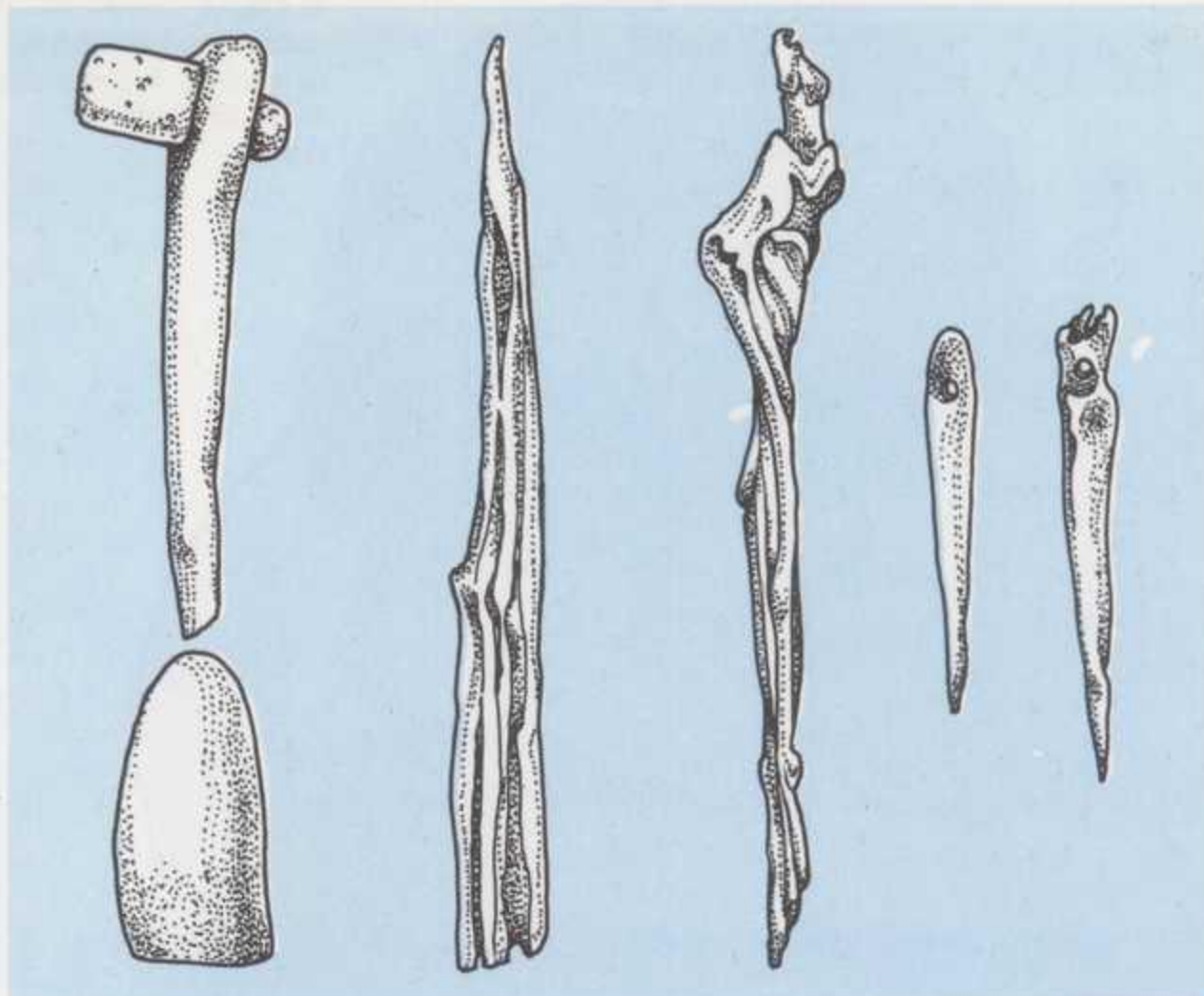
simple: el tipo 1 causa lesiones cutáneas en las mucosas oral y conjuntival; el tipo 2 es responsable de las manifestaciones localizadas en la mucosa genital. Infecciones secundarias por herpes simple pueden ser desencadenadas por la excesiva exposición al sol (figura del ángulo inferior derecho). En este caso aparecen pequeños grupos de vesículas.



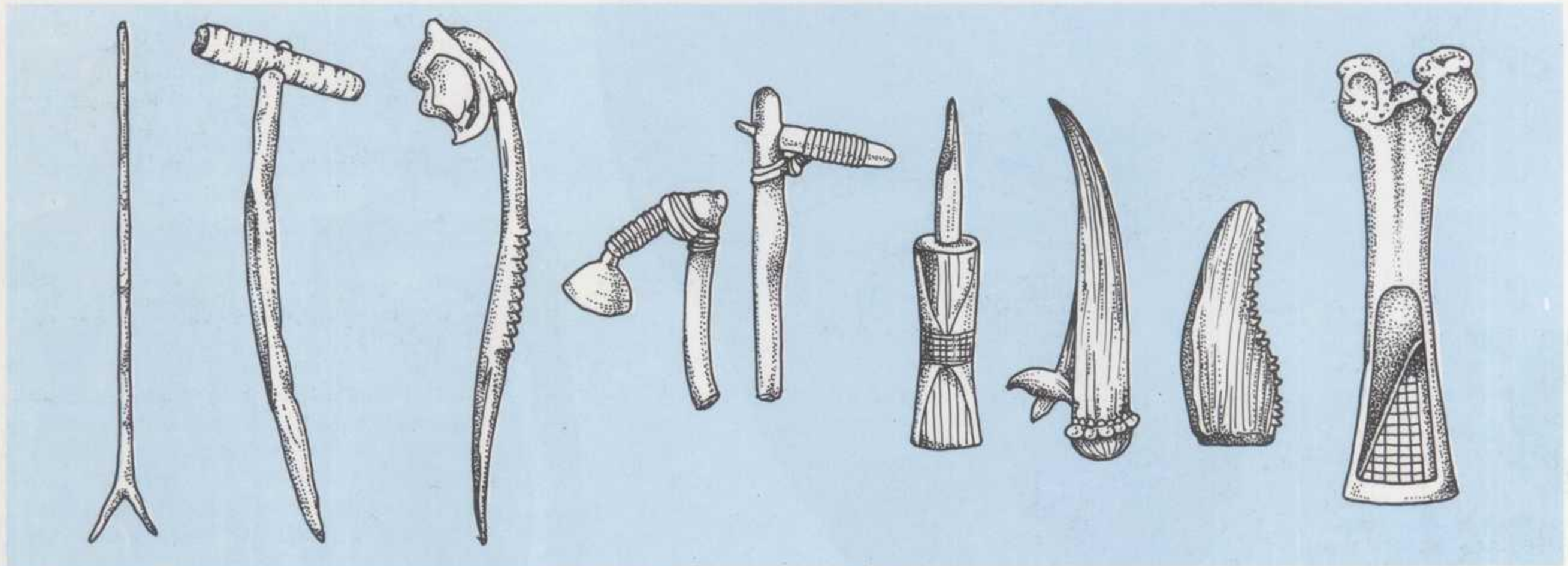
Herramientas y máquinas-herramienta

Los tipos de utensilios y herramientas que el hombre ha inventado y utilizado en el curso de los siglos constituyen una importante medida para evaluar los niveles culturales alcanzados por las distintas civilizaciones. Numerosas épocas han sido denominadas con el nombre de aquellos materiales empleados entonces por el hombre en la construcción de sus utensilios.

La primera de estas eras, que se inició hace casi 600.000 años, corresponde a la utilización de la piedra y comprende: el Paleolítico ("piedra antigua"), con la aparición del *Homo sapiens* hace unos 40.000 años; el Neolítico (literalmente "piedra nueva"), que duró cerca de 4.000 años (con variaciones en función del área geográfica) y que se caracterizó por el pulido de los instrumentos de piedra y por la aparición de la cerámica; el Mesolítico ("piedra media"), período comprendido



A la izquierda: azadas, aguja y lanza de hueso neolíticas; y punta de lanza de madera y daga de hueso paleolíticas. Abajo, de izquierda a derecha: tres bastones de la Columbia Británica; azada de hierro del Camerún, y de piedra, de Nueva Guinea; tres útiles de hueso y un raspador de la Tierra del Fuego. En la página siguiente, arriba, modernas agujas: a) para redes de pesca; b) de colchonero; c) de talabardero; d) para máquina de coser; e) de lana; f) de hilo; g) de tapicerías; h, i) para suturas; j, k) para inyecciones. En el centro, arado primitivo. Debajo, mecanismo de una máquina de coser.



entre los dos precedentes, en el que es importante la actividad recolectora.

A la Edad del Cobre, del 4500 al 3500 a. de C., pertenecen no sólo los utensilios de cobre, sino también los primeros intentos de escritura, en Mesopotamia, y la invención de la rueda.

La Edad del Bronce, del 3500 al 1600 a. de C., comenzó independientemente en Asia suroriental, en la Europa mediterránea y en Africa del Norte, como han demostrado los hallazgos arqueológicos. Durante este período fueron construidas las pirámides egipcias y el laberinto de Cnosos en Creta, y se inició la construcción megalítica de Stonehenge. La Edad del Hierro, que va del 1600 a. de C. al 700 d. de C., tuvo origen contemporáneamente en Asia suroriental y en las regiones mediterráneas. Este período vio florecer las grandes civilizaciones etrusca, griega y romana.

Se puede decir que actualmente vivimos en la llamada *Edad del Acero*, cuyo inicio se remonta casi al año 1000 después de Cristo.

Los antiguos utensilios fabricados por el hombre eran utilizados por éste de for-

ma manual. Hoy, además de las herramientas manuales, existen otras que pueden formar parte de las máquinas-herramienta, cuya aplicación permite la realización de trabajos más complejos de una manera fácil y rápida.

Herramientas manuales fundamentales

Las necesidades básicas del hombre primitivo consistían en procurarse los alimentos, en proveerse de un cobijo y de una indumentaria y en proteger estos bienes esenciales. Entre los primeros utensilios utilizados para alcanzar estos fines está el raspador de piedra realizado por el *Homo habilis* hace 2,5 millones de años. Parece ser que este raspador era utilizado para arrancar las pieles y la carne de los esqueletos de los animales.

Otro utensilio ligeramente más perfeccionado, el pulidor, elaborado en piedra, hueso o cuerno, era utilizado para raer las pieles de los animales, con el fin de usarlas como indumentaria, como mantas o —lo que constituye un notable progreso— como techo de habitaciones en forma de tienda. El hombre primitivo modeló también utensilios puntiagudos por medio de

los cuales practicaba perforaciones en las pieles; también esto constituyó un gran avance, puesto que hizo posible la confección de vestidos mediante agujas de hueso e hilos a partir de tripas, tiras de cuero y fibras naturales.

La primera gran innovación en el campo de la realización manual de los utensilios se cree que fue introducida por el hombre de Neanderthal (el predecesor inmediato del *Homo sapiens* en Europa) y consistió en la obtención de cuchillos de piedra cortante, no ya esculpiendo la piedra para conferirle la forma, sino arrancando de los bloques de piedra astillas útiles y afiladas.

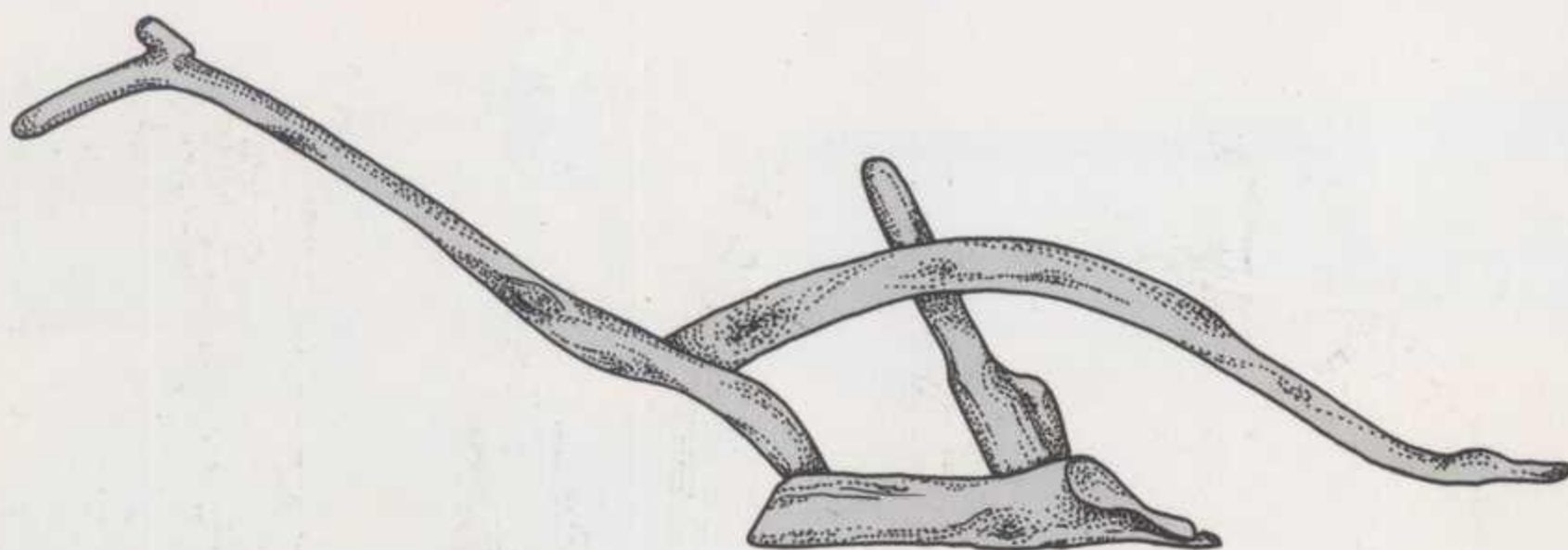
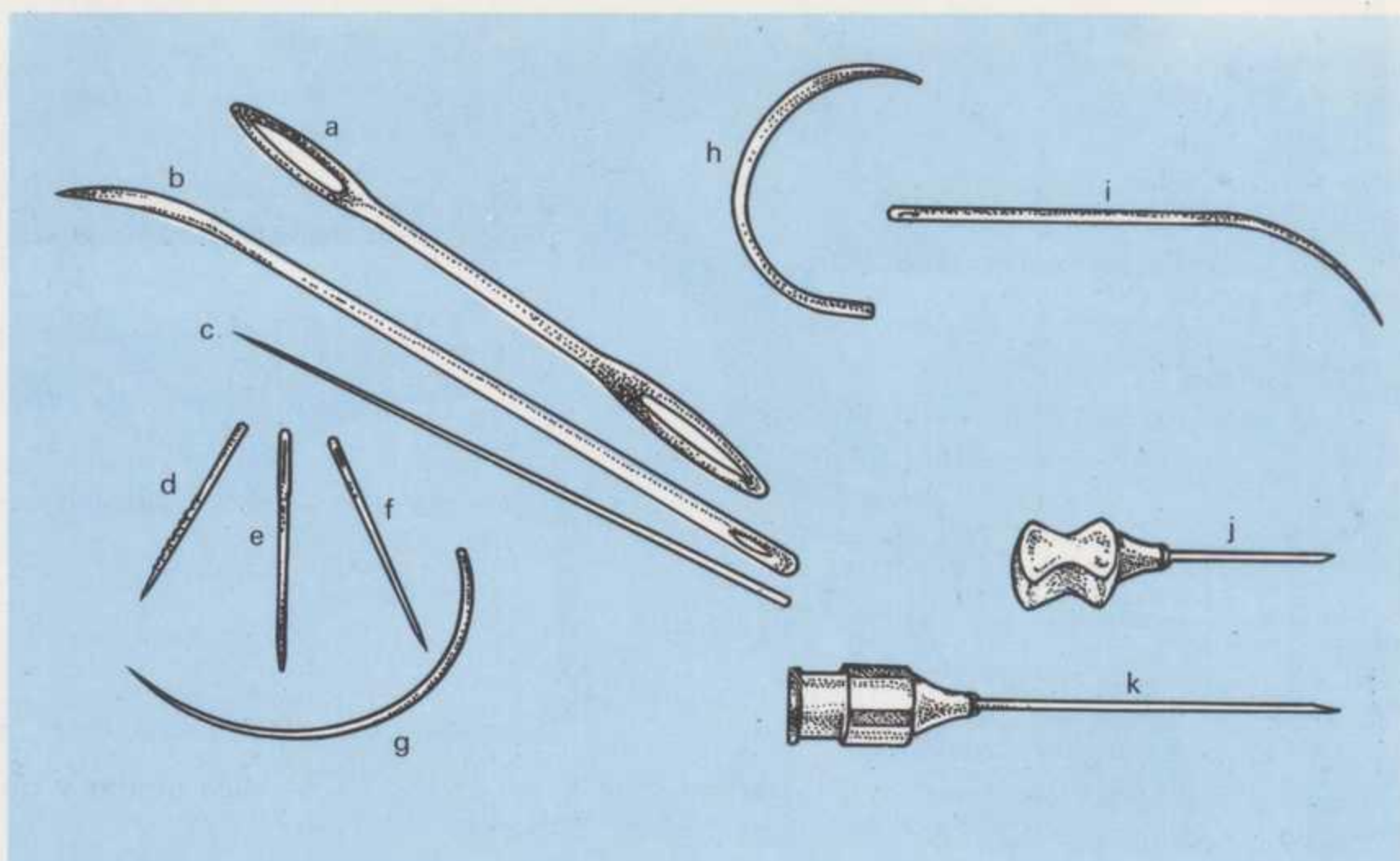
La hoz fue la primera herramienta agrícola inventada. Las primeras hoces fueron realizadas entre los años 7000 y 5000 a. de C. por los natufienses, habitantes de Palestina que utilizaban también morteros de piedra y hachas de afiladas cuchillas.

La sierra y el taladro de arco aparecieron en el antiguo Egipto. En el siglo I los artesanos romanos disponían ya de una amplia gama de cepillos de carpintero de forma parecida a la de los modernos. Otras muchas herramientas utilizadas en la ac-

tualidad, como el martillo, la lima, el berbiquí y los formones, tienen su origen en los talleres de los herreros, que han fabricado estos utensilios hasta el siglo XIX en que se generalizó la industria de la forja.

Las máquinas-herramienta Las máquinas-herramienta constan de tres partes: armazón rígida o base, elementos móviles que transmiten la fuerza y una o más herramientas que ejecutan la labor. La finalidad de la armazón es mantener las otras partes alineadas correctamente; los elementos móviles incluyen poleas, correas, cajas de velocidad y transmisiones; las herramientas pueden ser cepillos, cuchillas, agujas, limas, martillos, etcétera.

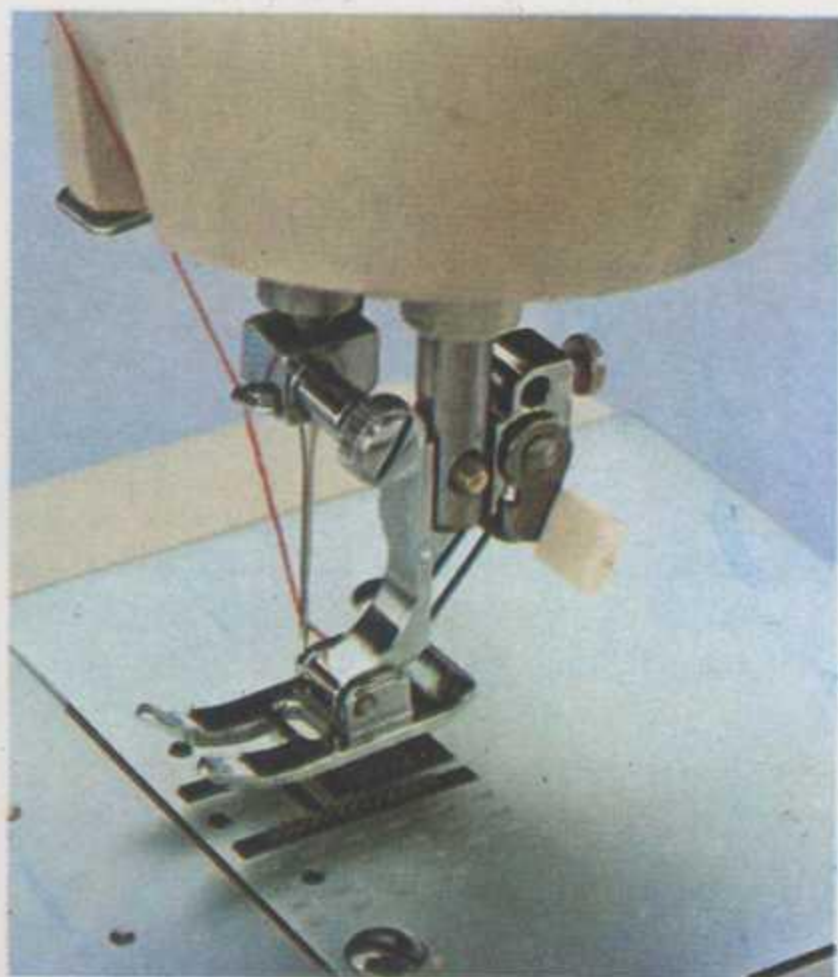
La invención de las máquinas-herramienta supuso, de hecho, un gran aumento de la productividad en comparación con las operaciones manuales. No obstante, estas máquinas deben ser controladas



prima es introducida continuamente en la máquina, de la que sale elaborada.

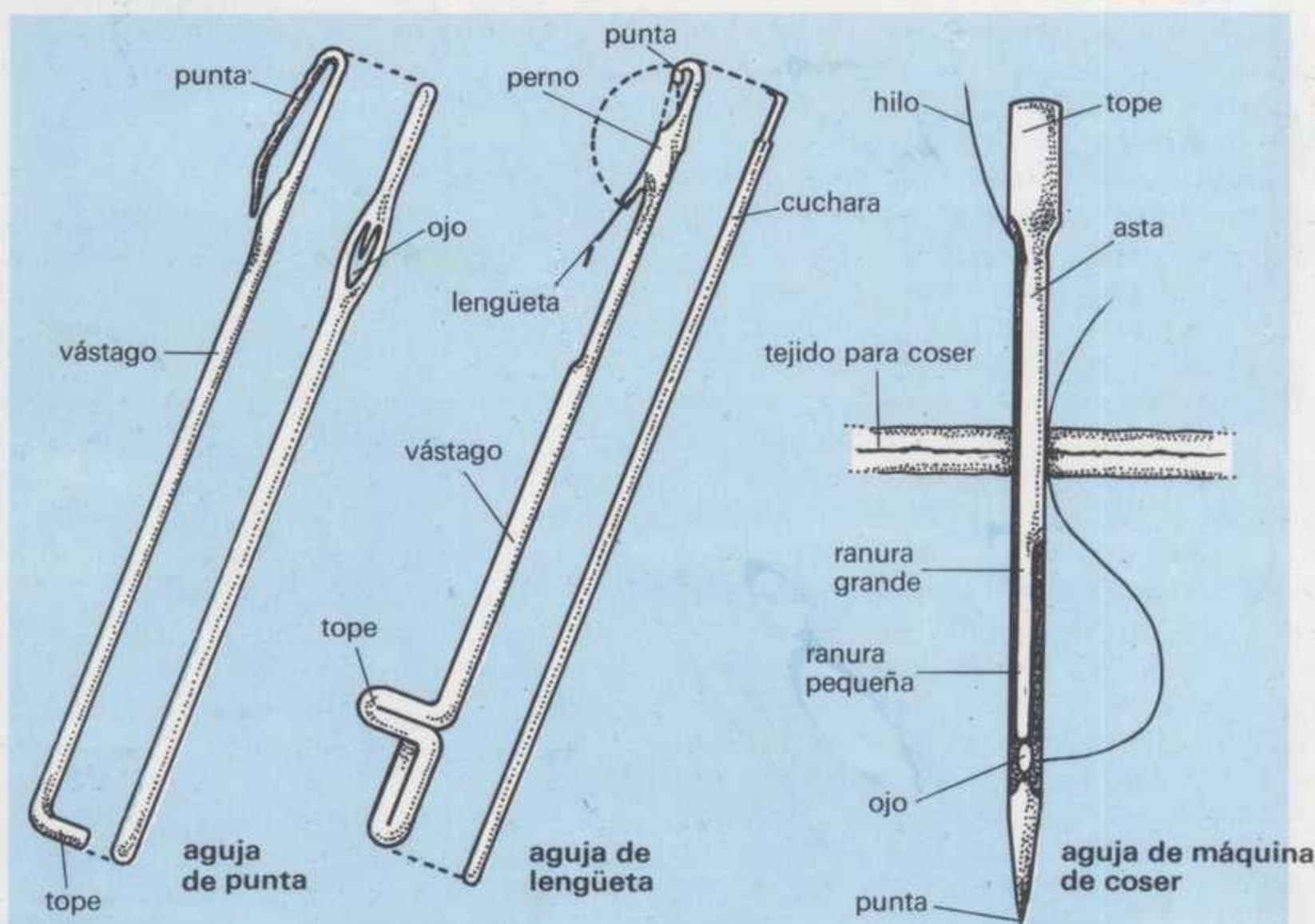
La energía para el accionamiento de una máquina-herramienta puede ser proporcionada por diversas fuentes, como vapor, electricidad y motor térmico.

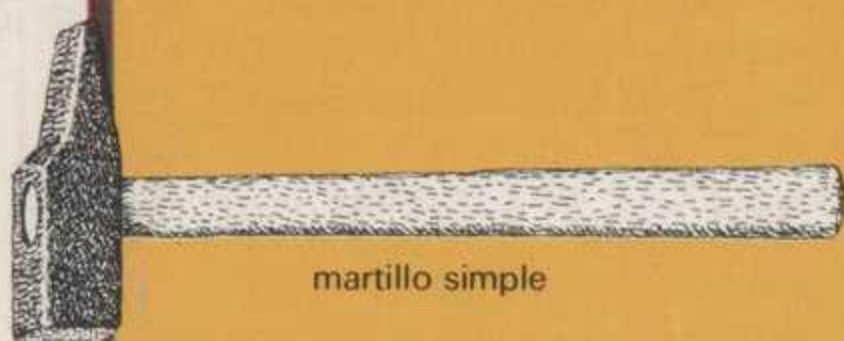
Véase Carpintería; Ebanistería; Fresadora; Robótica; Sierra mecánica; Taladro y perforadora; Tornillos y roscas



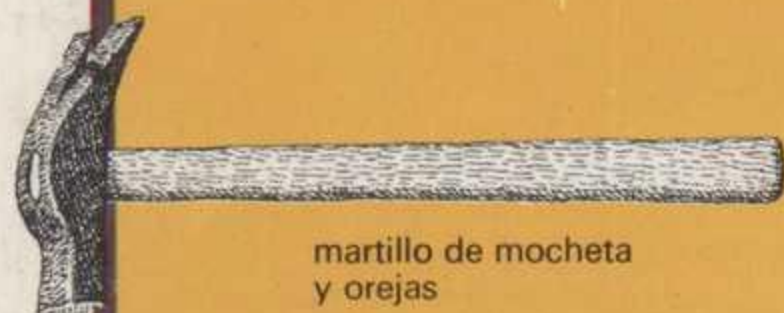
por un operario; según el nivel de atención requerido se dividen en: manuales, semiautomáticas y automáticas.

Las manuales necesitan un constante manejo durante su funcionamiento, con objeto de colocar el material en posición, dirigir la herramienta y mover la pieza a medida que se ejecuta la operación. Las máquinas semiautomáticas realizan un ciclo de producción sin necesidad del operario, que sólo ejecuta la carga, puesta en marcha y descarga. Las automáticas funcionan ininterrumpidamente y la materia





martillo simple



martillo de mocheta y orejas



martillo con cabeza de maza para albañiles



martillo con mocheta para cuero



mazo de carpintero con cabeza de madera



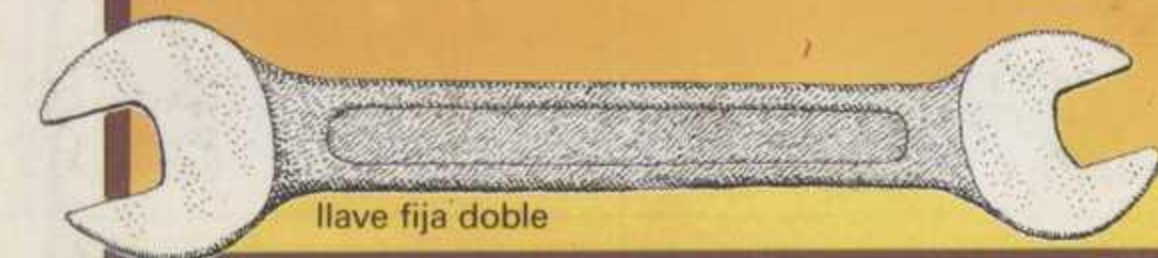
martillo de madera



martillo de cabeza redonda



llave graduable



llave fija doble



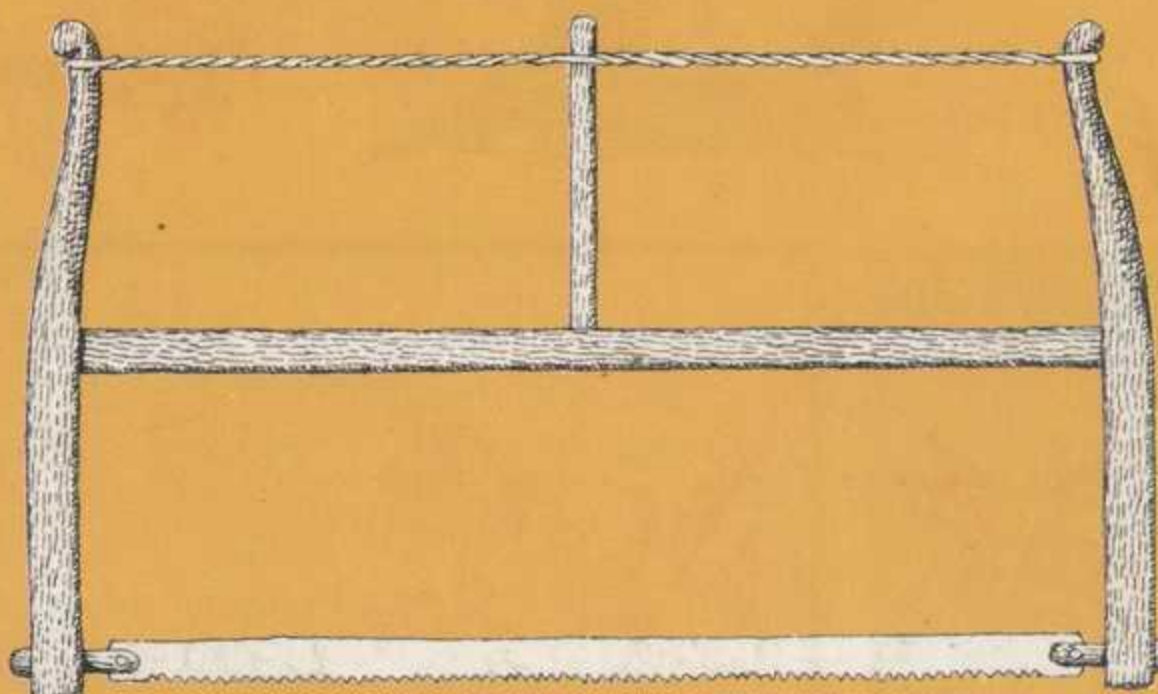
serrucho de costilla



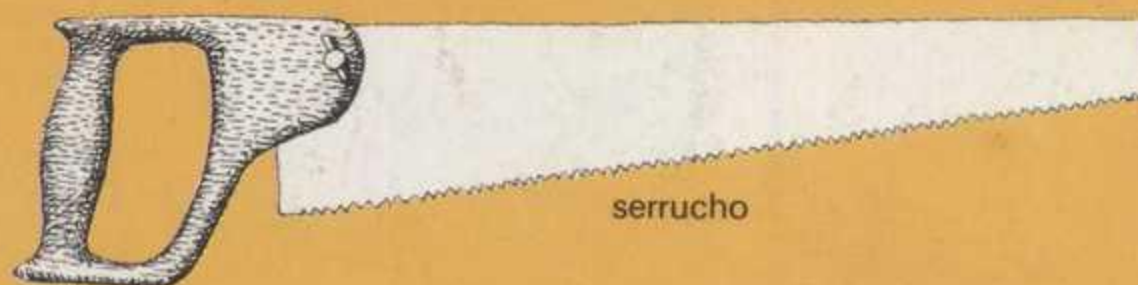
sierra de arco



sierra de hierro



sierra de dos mangos



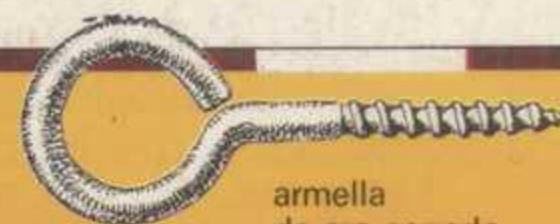
serrucho



arandela



arandela



armella de aro cerrado



armella de aro abierto

tuerca de cabeza ciega



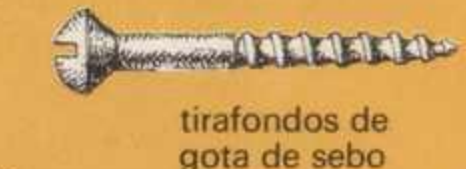
tuerca con aletas



tuerca hexagonal



alcayata de vástago roscado



tirafondos de gota de sebo



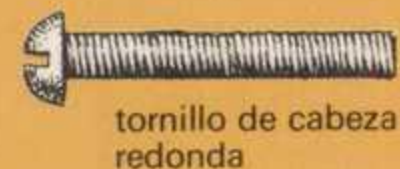
tirafondos de cabeza redonda



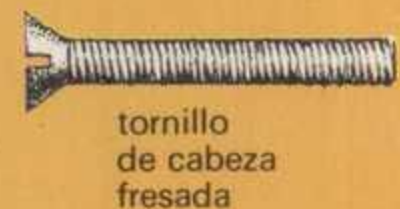
tirafondos de cabeza fresada



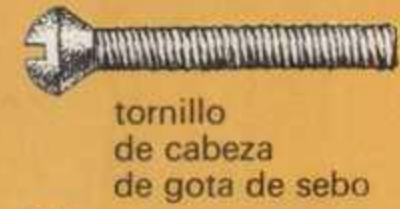
tornillo de cabeza cilíndrica



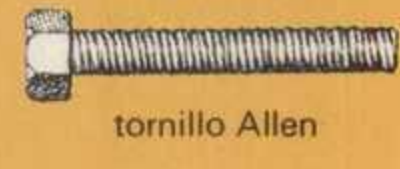
tornillo de cabeza redonda



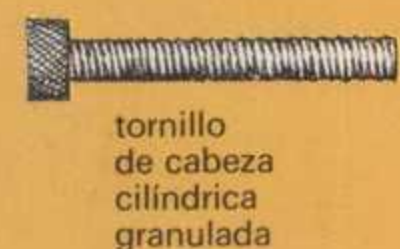
tornillo de cabeza fresada



tornillo de cabeza de gota de sebo



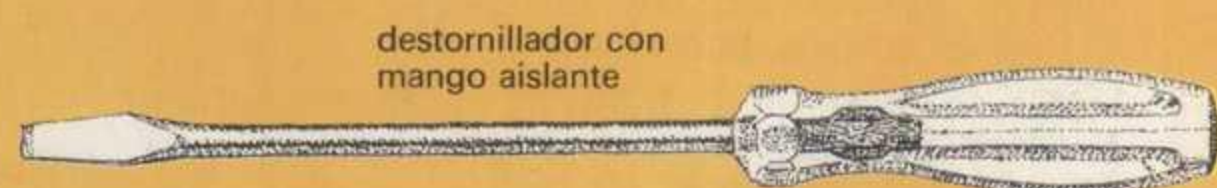
tornillo Allen



tornillo de cabeza cilíndrica granulada



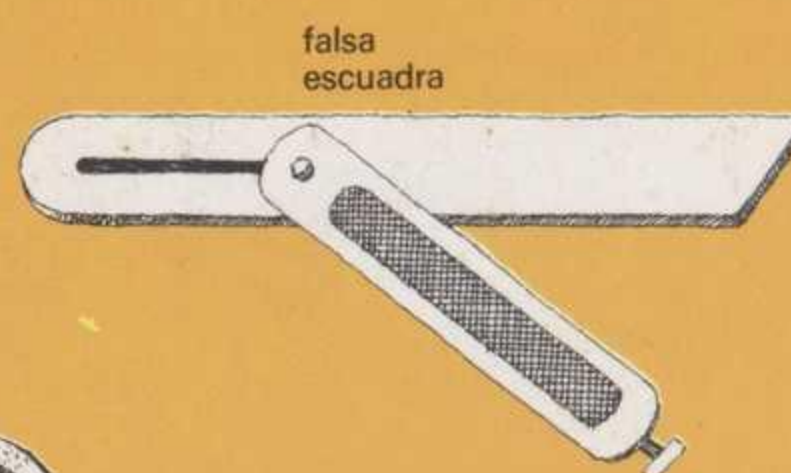
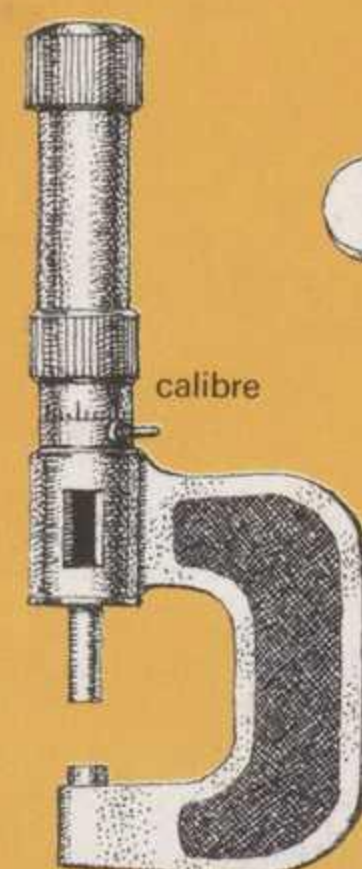
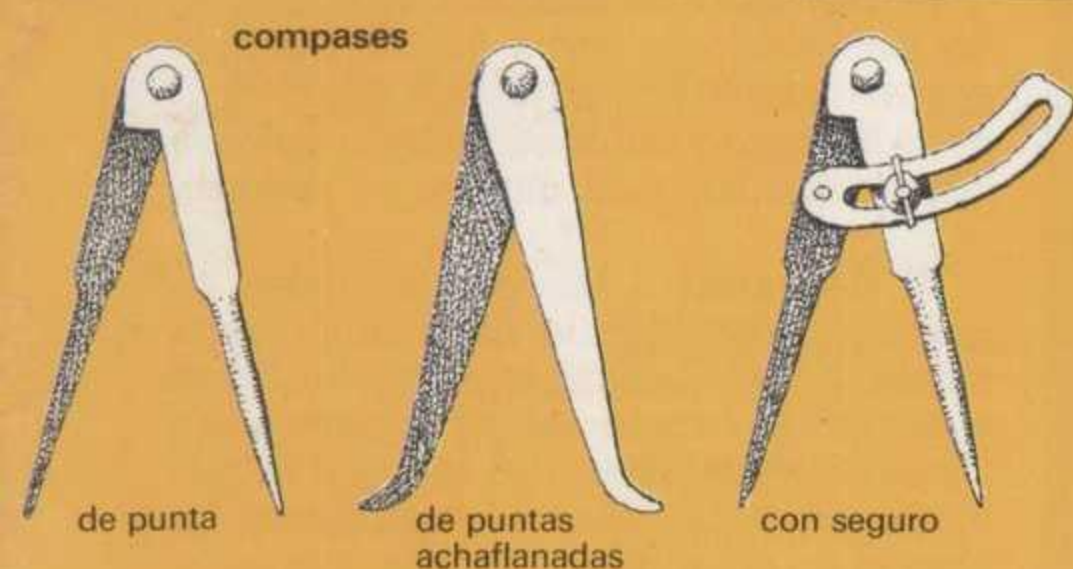
llave inglesa



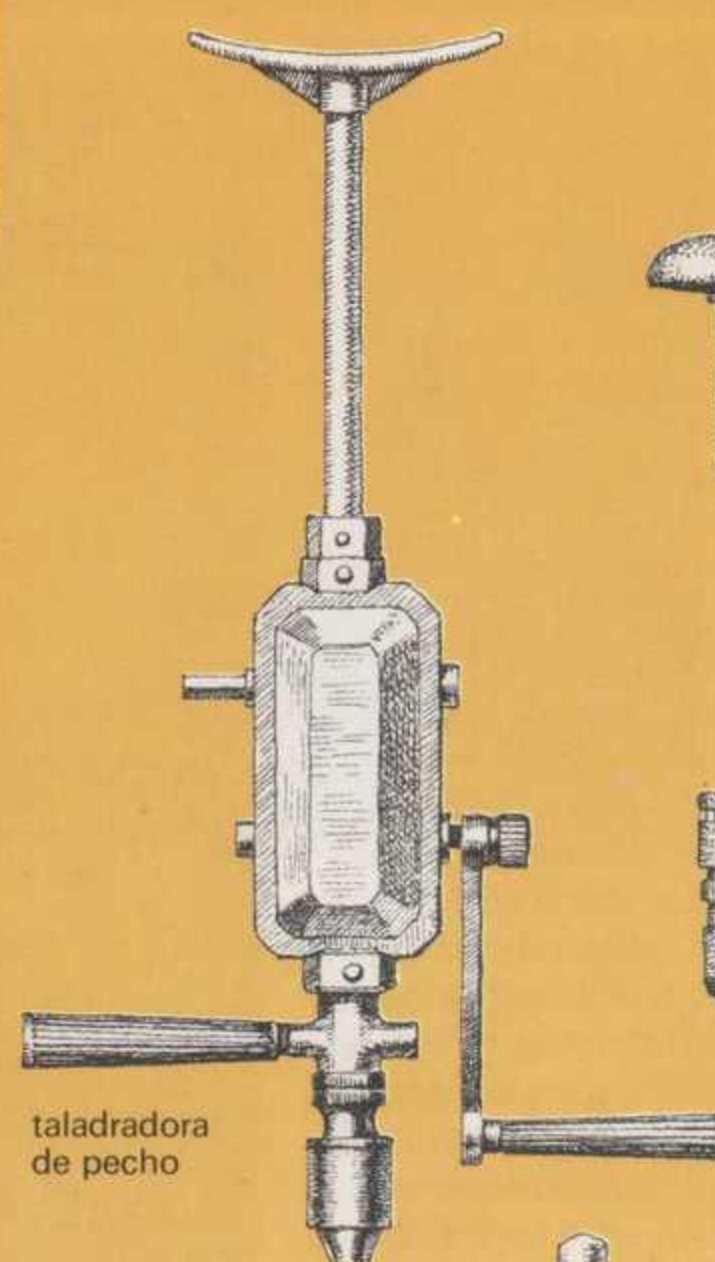
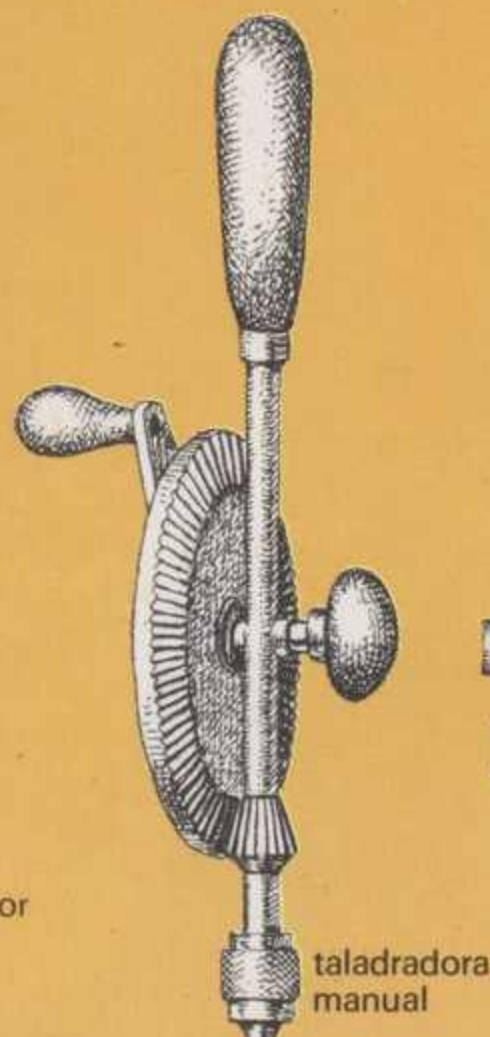
destornillador con mango aislante



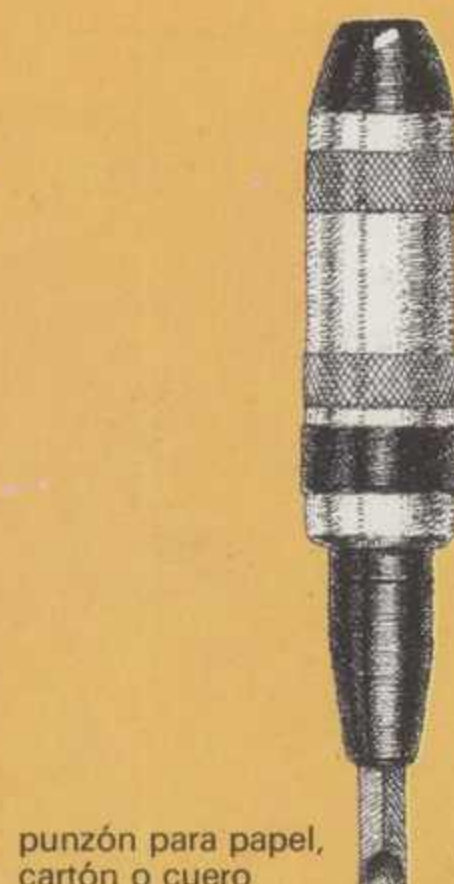
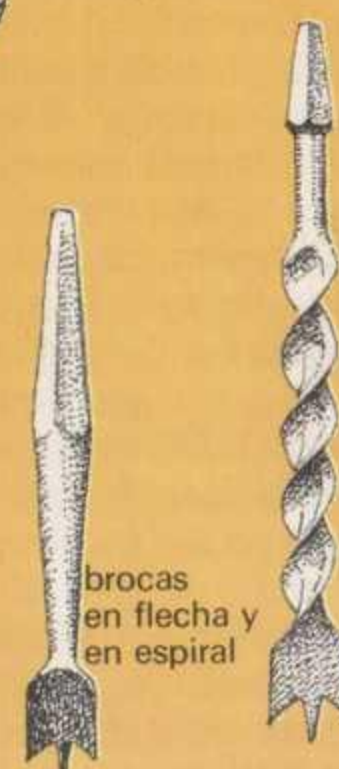
destornillador de carpintero



En estas páginas se pueden observar distintos utensilios para varios empleos de uso común. Tales utensilios de empleo manual tienen una forma que ha ido perfeccionándose con el tiempo, en función del empleo específico al que han sido destinados. Una forma funcional asegura un óptimo equilibrio del utensilio, lo que se transforma en un elevado rendimiento, es decir, en una elevada capacidad de transformar la energía muscular humana en labor útil. En la página anterior, a la izquierda, una serie de martillos que tienen formas diferentes según el empleo específico al que se destinan. En el centro, una serie de sierras para el corte de varios materiales. Abajo, llaves fijas o regulables para ajustar tuercas, y destornilladores. A la derecha, una serie de elementos para fijar a tornillo, dotados o no de tuercas y arandelas. En esta página, arriba, algunos elementos de medida: escuadras para la exacta realización de ángulos fijos, falsa escuadra, calibres y compases para medidas externas o para medidas internas. En el centro, instrumentos para perforar: barreno, berbiquí, taladros, con las consiguientes puntas. El destornillador automático transforma el movimiento alternado del cursor en movimiento rotatorio, teniendo siempre el mismo sentido de rotación en la punta. Abajo, otros instrumentos para pequeñas perforaciones e incisiones, como punzones, estiletes, buriles y perforadores.



broca helicoidal para taladradora



Hibernación

El colibrí y el oso pardo poseen una destacada propiedad biológica de la que carecen los hombres: son capaces de alcanzar un estado de entumecimiento —una especie de vida vegetativa— que conserva la energía y les permite soportar condiciones ambientales adversas. Sin embargo, de los dos animales citados, sólo uno es capaz de bajar su temperatura corporal hasta niveles drásticos, paralizando prácticamente sus procesos metabólicos, y a pesar de ello sobrevivir. Este animal es el colibrí, y el estado que alcanza se llama *hibernación*.

Muchos animales, desde los insectos a los reptiles, son capaces de alcanzar un estado de letargo, pero la hibernación propiamente dicha se refiere a los de sangre caliente, como las aves con plumas y los animales con pelo, cuya temperatura corporal puede variar de acuerdo con el ambiente que les rodea (el oso, en cambio, mantiene una temperatura más bien alta durante el letargo, que se considera como un sueño invernal).

Todos los animales que hibernan tienen un dispositivo fisiológico especial, un termorregulador, especie de termostato localizado en el cerebro que controla la temperatura corporal para que se mantenga constante. En los animales que hibernan, esta temperatura baja a menudo hasta casi 0 °C, las pulsaciones se hacen muy lentas y las reacciones metabólicas —que suministran la energía que mantiene caliente la sangre— se bloquean casi por completo.

Cómo se inicia la hibernación La hibernación es la forma natural de resolver el problema de la escasez de alimento durante el período invernal. Análogamente, hay un estado de sopor, conocido por *estivación*, que tiene lugar durante los meses de verano, cuando las condiciones de extremo calor o sequedad llegan a influir en la disponibilidad de alimento. En cualquier caso, la hibernación parece depender de una especie de "reloj" interno del animal. Actualmente se desconoce cuál es el mecanismo exacto de este "reloj", pero se sabe que reacciona ante factores ambientales, como las variaciones de temperatura, las estaciones y los movimientos del Sol. Animales tan distintos como el perro de las praderas, el murciélago y el puerco espín obedecen a este "reloj" interno y se retiran para pasar el invierno. La hibernación tiene lugar en un lugar resguardado (una madriguera o cubil), que a veces se llama *refugio invernal*. El inicio de la hibernación se caracteriza por una serie de cambios en la fisiología o en las costumbres alimentarias del animal. La ardilla terrestre norteamericana, por ejemplo, aumenta considerablemente la grasa de su cuerpo antes de la hibernación; esas reservas de grasa se van consumiendo luego lentamente mediante un metabolismo atenuado durante el período invernal. Los hámster, en cambio, acumulan reservas de comida en sus nidos, y retrasan todo lo que pueden la hibernación. Hay,

además de la evidente necesidad de una fuente de alimento que dure todo el período de la hibernación, otros dos elementos que deben estar bajo control: el agua y el calor del cuerpo. El refugio invernal está aislado y es pequeño y húmedo, lo que contribuye a mantener el calor y reducir la evaporación del agua del cuerpo.

El sueño profundo El auténtico proceso de hibernación implica una detención casi total de las funciones vitales. La temperatura del cuerpo desciende de acuerdo con la del ambiente. Si la temperatura del aire baja de cero grados, el animal en hibernación, que ya tiene una temperatura corporal bastante baja, puede morir congelado; de hecho, muchos animales en hibernación no despiertan de su profundo sueño.

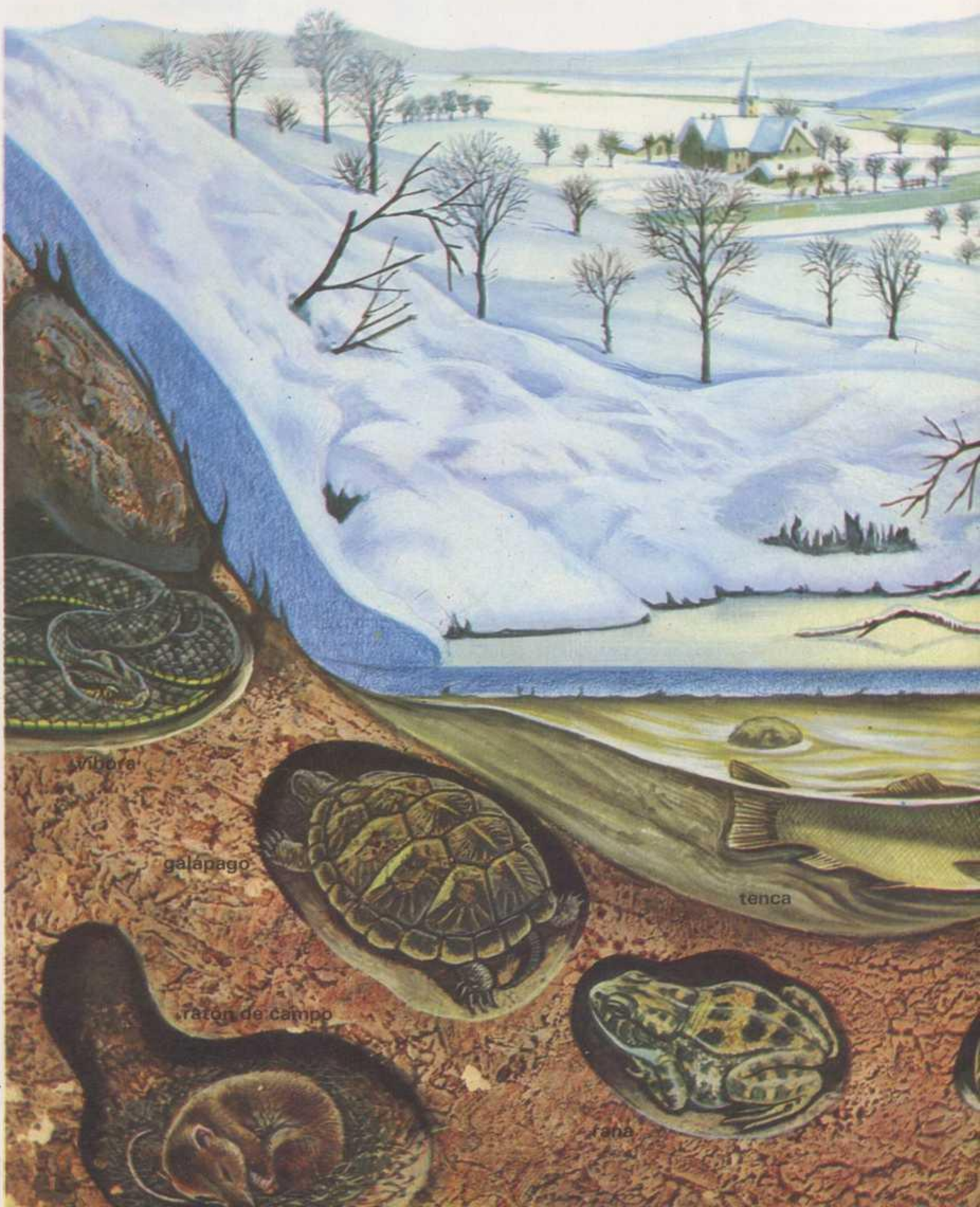
En circunstancias normales, un animal de sangre caliente sufre cuando la temperatura es muy baja. Los estremecimientos, en tanto que actividad muscular, generan calor, ya que aumentan el metabolismo. En los animales en hibernación, en cambio, el impulso que desencadena los estremecimientos ha quedado anulado. La frecuen-

cia de las pulsaciones disminuye notablemente, y las arterias se contraen lentamente. Estas reacciones tienen la doble finalidad de reducir el calor del cuerpo y mantener al mismo tiempo la presión sanguínea dentro de unos límites adecuados.

La ardilla terrestre, por ejemplo, tiene un ritmo normal de 300 pulsaciones por minuto, mientras que durante la hibernación tiene sólo de 7 a 10 pulsaciones por minuto.

No hay que confundir el estado de sueño profundo con otros fenómenos que aparentemente son similares, como el ligero descenso del metabolismo que experimentan los osos durante el invierno.

El despertar Muchos animales se despiertan durante la hibernación para comer, beber o eliminar desechos; luego vuelven al estado de entumecimiento. Cuando se despiertan, los cambios fisiológicos son repentinos e importantes. La temperatura corporal puede aumentar hasta 30 °C en el curso de algunas horas, y a menudo hay una explosión de actividad que acompaña a este súbito aumento de la energía. Algunos animales vuelven



a su existencia en el punto en que la habían interrumpido con la hibernación, como en el caso de las hembras del murciélago, que se aparean en otoño, conservan el esperma del macho en su cuerpo durante la hibernación y no permiten que sus huevos sean fecundados hasta la siguiente primavera.

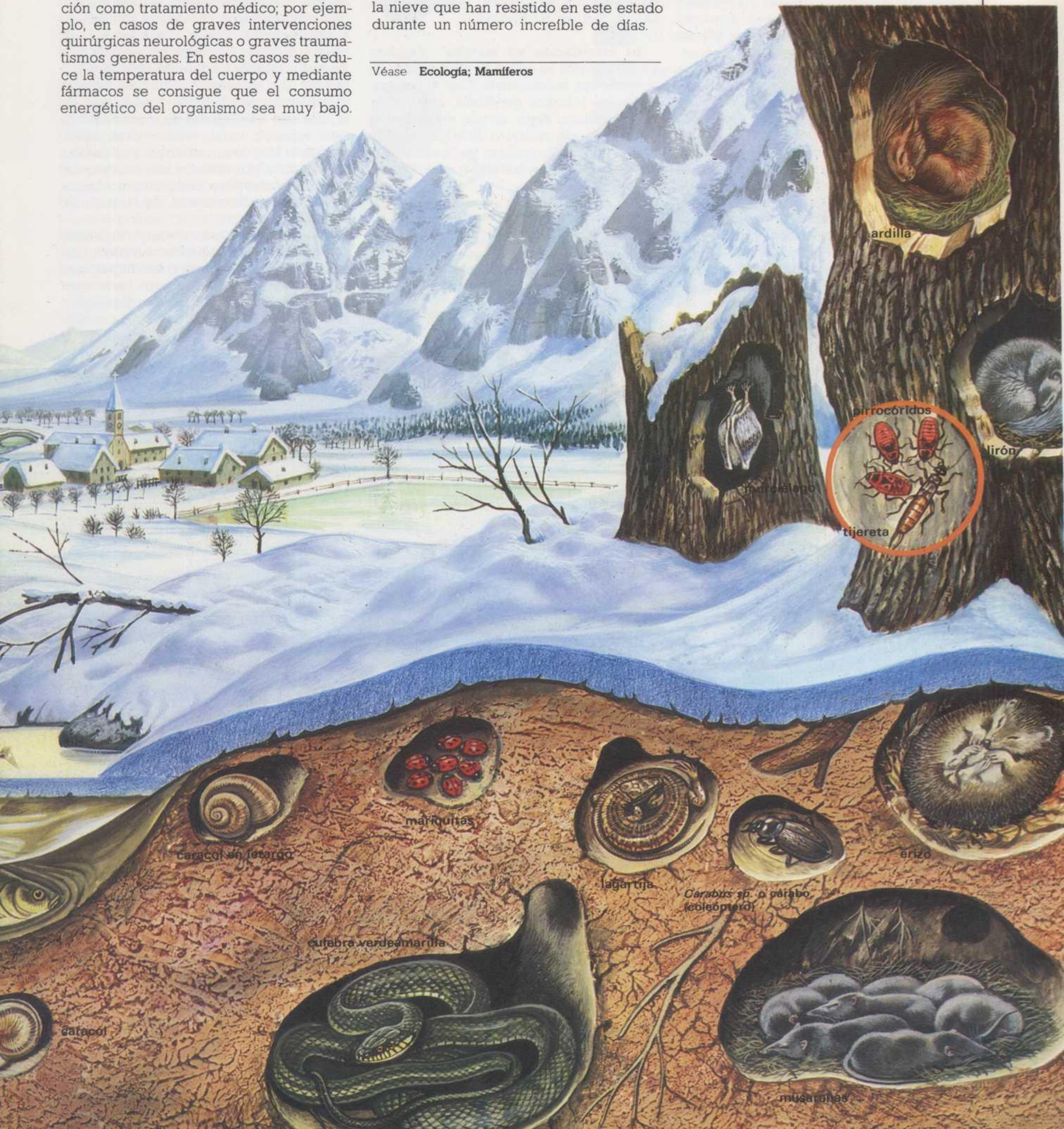
En el hombre se puede provocar artificialmente un estado análogo a la hibernación como tratamiento médico; por ejemplo, en casos de graves intervenciones quirúrgicas neurológicas o graves traumatismos generales. En estos casos se reduce la temperatura del cuerpo y mediante fármacos se consigue que el consumo energético del organismo sea muy bajo.

Cuando hay que realizar una intervención a corazón abierto en niños pequeños, se provoca a veces la hipotermia profunda, un descenso de la temperatura corporal (entre los 20 y los 15 °C) para producir un paro cardiocirculatorio y operar con el corazón relajado. Por último, cabe señalar que accidentalmente también se puede producir hibernación en el hombre: se han dado casos de personas sepultadas bajo la nieve que han resistido en este estado durante un número increíble de días.

Véase **Ecología; Mamíferos**

Durante la estación invernal, los animales que hibernan tienen una fisiología más lenta, o bien duermen un profundo sueño. En esta fase se colocan en lugares resguardados del frío. El subsuelo es el preferido; en otros casos, como en el de

los animales acuáticos, el limo del fondo ofrece unas garantías similares y menos variaciones térmicas que el agua. En los climas fríos y templados la hibernación es la principal forma de adaptación al medio de muchos mamíferos.



Híbridos

Con la palabra *híbrido*, proveniente del latín *hybrida*, solemos referirnos al animal o planta que ha nacido a partir de progenitores de especies distintas o bien de distintas razas de una misma especie. Por ejemplo, los mulos y mulas que nacen del apareamiento entre un burro y una yegua son *híbridos interespecíficos*.

En general, los híbridos poseen características de ambos progenitores. Además, en muchas especies animales y vegetales el híbrido de dos razas o líneas muy consanguíneas presenta mayor vigor y productividad que sus progenitores, fenómeno conocido como *heterosis*. Por ambos motivos, la hibridación (proceso de obtención de híbridos), se ha convertido en una importante técnica agrícola, empleada para la mejora de las cosechas. Por ejemplo, se pueden cruzar dos tipos de trigo, uno resistente a cierto hongo y otro de gran contenido proteico en grano, con la esperanza de reunir en una sola línea ambos caracteres favorables y, además, aprovechar, si la presenta, la heterosis.

El mecanismo genético de la hibridación La hibridación no siempre es posible; por ejemplo, sería absurdo tratar de obtener un híbrido de vaca y cerdo. Para entender por qué en unos casos la hibridación interespecífica es posible y en otros no y por qué el híbrido suele exhibir caracteres de ambos progenitores hay que tener algunas nociones de Genética.

Las células que componen el cuerpo de los animales y plantas llevan una membrana externa, que las separa del exterior, y otra interna, que separa el llamado *núcleo* del resto de la célula. Dentro de la membrana nuclear hay unas estructuras filamentosas, los *cromosomas*, en las cuales se encuentran los factores hereditarios, o *genes*, que dirigen el metabolismo celular. Así, por medio de una complicada red de reacciones bioquímicas, los genes determinan, en última instancia, los caracteres hereditarios observables del organismo. En ocasiones, una diferencia hereditaria entre dos individuos de una misma especie se debe a que llevan versiones distintas de un único gen; otras veces, la diversidad hereditaria se debe a diferencias en dos o más genes. En todos los casos, el desarrollo de un carácter complejo requiere la acción de numerosos genes.

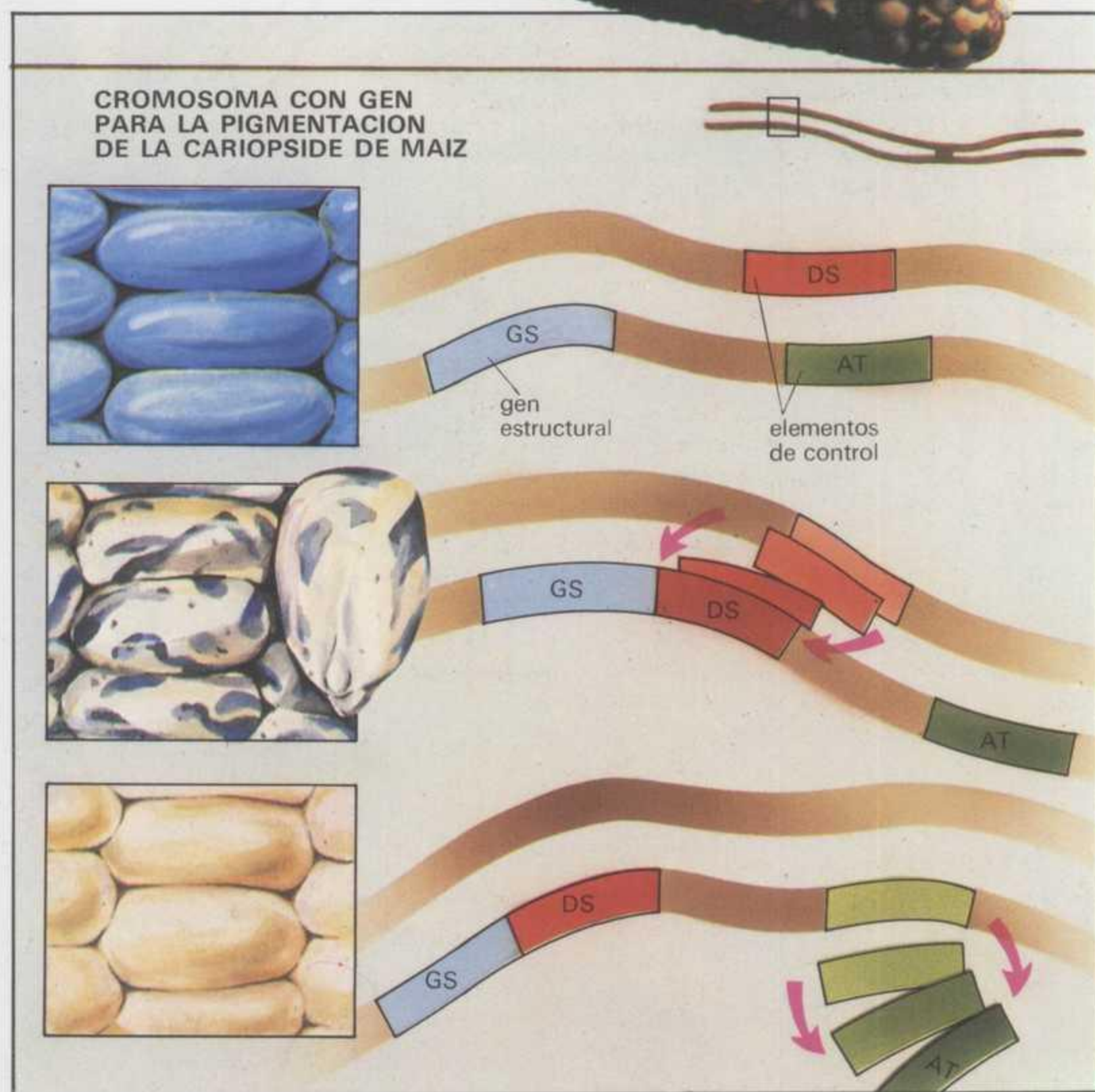
El organismo nuevo recibe los genes de la generación anterior. En las especies monoicas, cada individuo produce dos tipos de células sexuales o gametos: espermatozoides y óvulos; en las especies dioicas, cada individuo produce sólo un tipo de gametos: el macho, los espermatozoides, y la hembra, los óvulos. En todos los casos, la célula resultante de la fusión de los gametos recibirá, por cada gen aportado por el espermatozoide, otro, homólogo, aportado por el óvulo. Esto explica que el nuevo individuo herede características de uno y otro progenitor. Además, si el cruce se estableció entre especies distintas, puede ocurrir que el espermatozoide no llegue a fecundar al óvulo, o que los

genes de las dos especies sean tan diferentes que el cigoto no pueda completar su desarrollo por recibir órdenes disarmónicos o contradictorios de los genes de una y otra especie. Eso explica por qué la hibridación sólo es posible entre razas de una misma especie o, a lo sumo, entre especies estrechamente relacionadas. En general, el desarrollo de los animales está sujeto a controles genéticos más estrictos, por lo que la hibridación interespecífica es más fácil en las plantas.

La hibridación en marcha Durante muchos siglos se utilizó la hibridación sin conocer sus mecanismos. Con el progreso de los estudios genéticos, sobre todo en este último siglo, se han empezado a conocer los mecanismos de la hibridación, por lo que la Humanidad ha aprendido a controlar y aprovechar mejor esta técnica.

El color de la semilla del maíz depende de ciertos factores hereditarios, o genes. Actualmente se conoce bien la regulación genética del color de la semilla, que depende de dos tipos de genes, los llamados *estructurales* y los *de control*. Si el gen estructural no sufre efecto alguno por parte de los genes de control, los granos tendrán color púrpura. En cambio, si los genes de control entran en acción,

la coloración se ve parcial o totalmente suprimida, apareciendo granos a manchas o uniformemente incoloros, respectivamente.



Actualmente se dispone de una gran variedad de técnicas de hibridación. Por ejemplo, si disponemos de una raza vegetal cuyas características globales de productividad, resistencia a la sequía y a los parásitos, etc. sean buenas y de otra raza o especie que hibride con la primera, menos útil pero con algún rasgo hereditario de interés, como resistencia a cierto virus, podemos hibridar ambas razas para obtener plantas resistentes cuya dotación genética provendrá, en una de sus mitades, de la raza superior. Ahora, si tomamos el híbrido y lo cruzamos de nuevo por la raza de más interés, obtendremos algunas plantas resistentes al virus, pero cuyas tres cuartas partes de los genes serán de la raza más útil. Repitiendo el cruce por la raza superior varias veces y eligiendo siempre los descendientes resistentes, acabaremos por obtener una raza tan útil como la inicial, pero a la que hemos transferido el gen interesante de la segunda raza.

En otros casos, cuando haya heterosis, la técnica de hibridación será distinta. Empezaremos por obtener dos líneas que muestren en alto grado alguna característica hereditaria de interés; eso se logra cruzando repetidas veces entre sí indivi-

Para obtener variedades vegetales que se puedan cultivar con buenos resultados económicos, se suele llevar a cabo una serie de hibridaciones entre líneas puras que se cultivan para este fin, manteniéndolas por autofecundación. A partir del cruce de dos líneas puras se obtienen hijos que suelen ser más rentables que los padres. En muchos casos se lleva a cabo una hibridación doble; a partir de dos parejas de abuelos se obtienen sendos padres híbridos, cuyo cruce

produce, en el segundo año, un nieto con las características deseadas. Este hecho, ya conocido por los genetistas del siglo pasado (que le daban el nombre de *vigor híbrido*), permite la obtención de variedades vegetales más resistentes a enfermedades o capaces de vivir y desarrollarse en condiciones climáticas, edáficas, etc. extremadamente difíciles, en las cuales sería imposible el normal desarrollo y la supervivencia de la planta silvestre.



duos con las características deseadas e incluso, si la especie es monoica, mediante autofecundación de los individuos más interesantes. Normalmente, por este método lograremos mejorar el carácter que nos interesa, pero las demás características de la línea, como vigor, fertilidad, etc., frecuentemente empeorarán. Para mejorar el vigor general, bastará con cruzar entre sí las dos líneas previamente seleccionadas, y obtener un híbrido que combine las cualidades positivas seleccionadas en las líneas con la buena prestancia general típica de la heterosis. Desgraciadamente los descendientes de este híbrido óptimo ya no serán tan rentables, de modo que es preciso mantener continuamente las líneas seleccionadas y obtener, en cada siembra o ciclo reproductivo, los híbridos de interés comercial. Muchas empresas comerciales se han especializado en obtener líneas puras cuyos híbridos son muy rentables, pero han protegido bajo patente las líneas originales y sólo venden a los agricultores o ganaderos las semillas híbridas o los animales híbridos, de modo que los consumidores deben comprar, en cada ocasión que quieran criar plantas o animales, los híbridos a la casa monopolizadora de su producción. En España, por ejemplo, se importan masivamente semillas de maíz híbrido. Hoy en día, hay economías agrícolas que dependen fuertemente del suministro constante de reproductores o híbridos por parte de las empresas productoras, frecuentemente norteamericanas. También en el caso de la cría industrial de animales, como las gallinas ponedoras y de carne, hay en todo el mundo no más de una docena de granjas de selección, la mayoría estadounidenses, que suministran las variedades genéticas para la producción de híbridos. La mayor parte de los pollos y ponedoras que se venden en Europa son híbridos de segunda generación procedentes de variedades traídas de EE UU. En España no hay granjas de selección, a pesar de que se viene investigando en este terreno desde hace bastantes años y se han obtenido resultados satisfactorios, pero estos resultados no han tenido repercusión ni en la industria ni en el comercio exterior.

A nivel mundial, la hibridación ha obtenido un éxito extraordinario en el desarrollo y crecimiento de la producción de alimentos. Combinándola con técnicas de selección artificial, ha permitido mejorar la resistencia a agentes patógenos, el crecimiento en condiciones meteorológicas duras y ha sido de gran utilidad a la hora de uniformizar las dimensiones y los tiempos de crecimiento, permitiendo así la recolección mecanizada. Uno de los mayores éxitos de estas técnicas es la creación de líneas de maíz híbrido altamente productivas. También el trigo y algunas especies de animales domésticos han sido notablemente mejoradas.

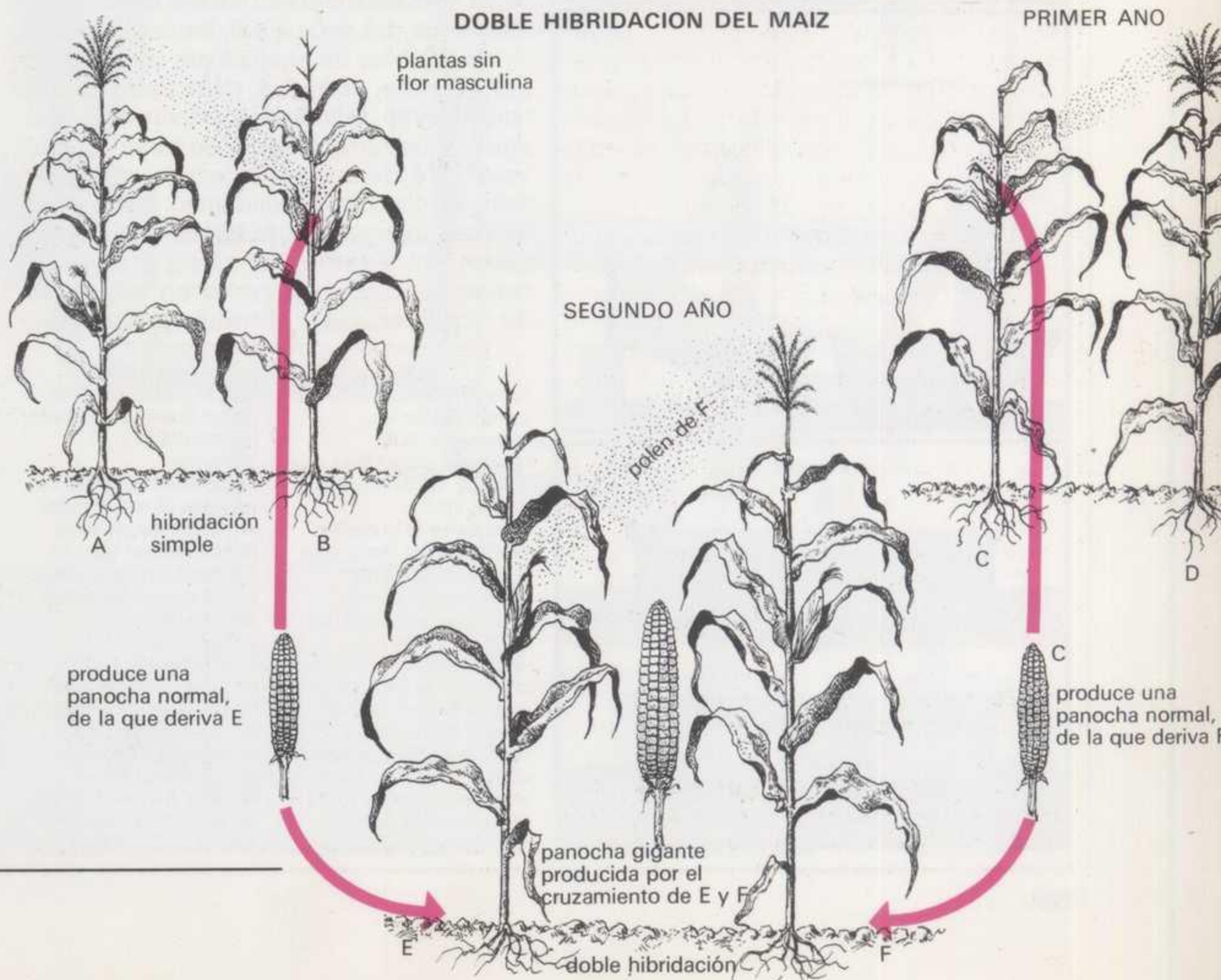
Véase **Cromosoma; Gen; Herencia; Maíz; Reproducción**

En el cultivo de plantas ornamentales también se ha generalizado recientemente la

hibridación, gracias a técnicas como la polinización artificial. Ciertas variedades de rosa se obtienen

recogiendo las anteras con el polen de determinadas flores y depositando el polen en los estigmas

(órganos femeninos) de otras rosas, habiendo seleccionado previamente ambos progenitores.

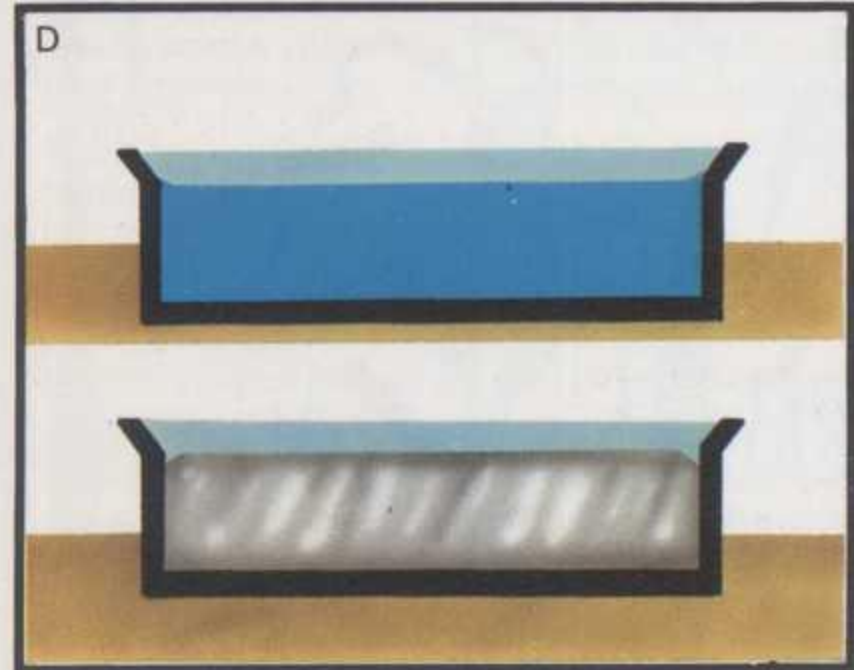
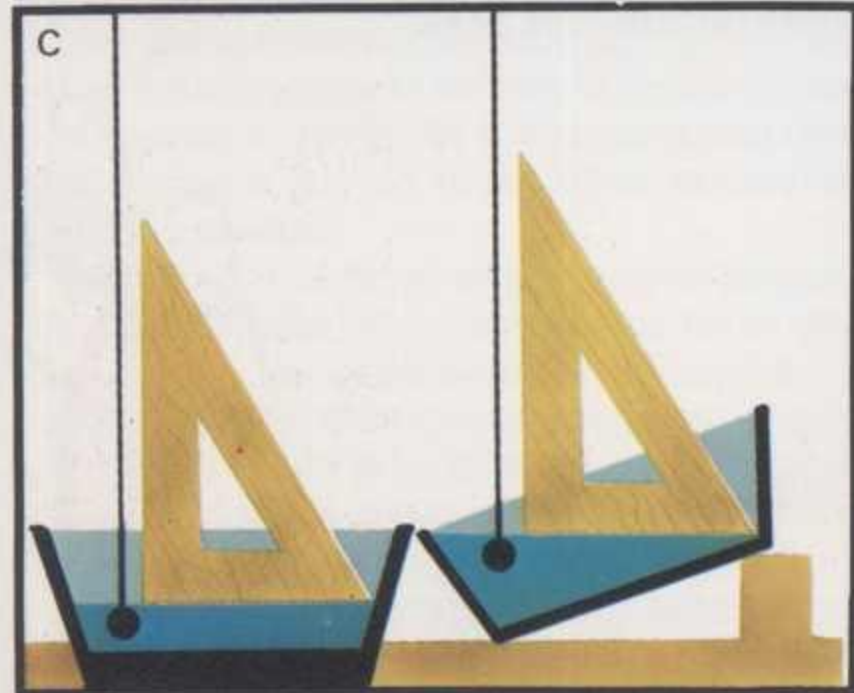
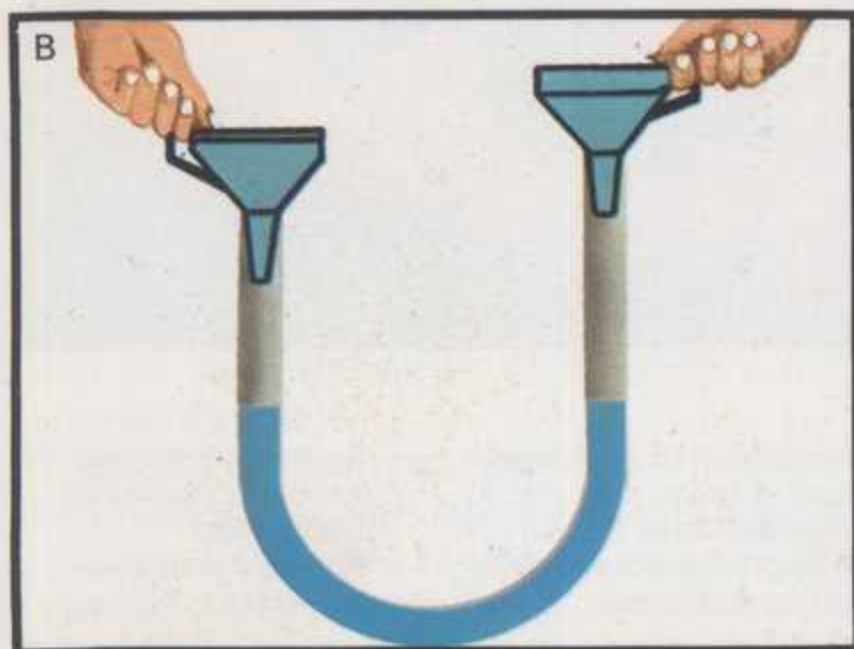
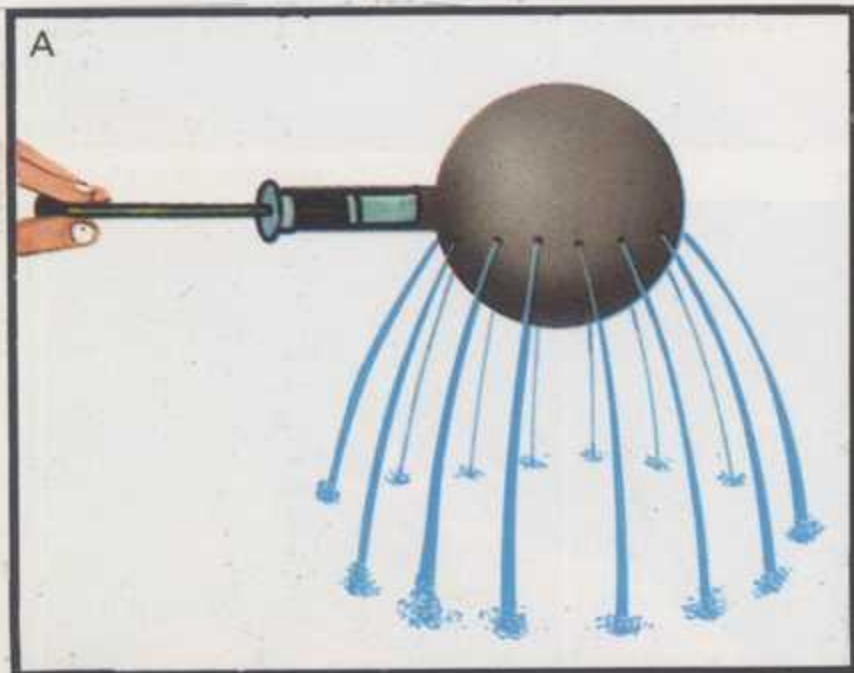


Hidráulica

Nada nos parece más tranquilo e idílico que navegar en un barco de vela, escuchar el suave sonido del agua que acaricia ligeramente el casco y ver cómo ésta parece alejarse por la popa formando pequeños remolinos. Un ingeniero naval, sin embargo, podría considerar esa escena bajo una perspectiva menos poética: de hecho, la turbulencia que el barco provoca al navegar denuncia un defecto de diseño del casco de la embarcación.

El estudio de la turbulencia del agua representa precisamente uno de los problemas de los que se ocupan científicos y

técnicos especialistas en hidráulica. El flujo del agua en las tuberías y en los canales se optimiza cuando la turbulencia se reduce al mínimo, con lo que se evita además pérdidas de energía. En las bombas hidráulicas el problema es aún más importante. La turbulencia del agua (o de otros líquidos) puede causar problemas de cavitación, que se presentan cuando en un líquido en agitación se forma un vacío parcial cerca y alrededor de una hélice en rotación. Este fenómeno no sólo hace menos eficiente la hélice sino que también puede ser causa de la corrosión de las estructuras metálicas.



Submarinos nucleares Las formas actuales de los cascos y de las hélices de los submarinos nucleares son resultado de numerosos cálculos y experimentos, la mayor parte de los cuales permanece en secreto, y es que en estas naves submarinas la turbulencia y los problemas de la cavitación deben ser rigurosamente minimizados. Las vibraciones causadas por la turbulencia se propagan a lo largo de kilómetros y kilómetros en las aguas de los océanos y podrían ser registradas en los aparatos de escucha de otras naves enemigas. Para navegar silenciosamente, un submarino debe estar dotado de una forma hidrodinámica perfecta, de manera tal que el desplazamiento del agua sobre el casco sea laminar (o sea, que no forme remolinos), uniforme y lo más silencioso posible.

Los descubrimientos de Bernoulli El estudio del movimiento de los líquidos y de sus efectos es el objeto de la ciencia de la Hidrodinámica. A los estudios de Hidrodinámica han contribuido numerosos científicos, entre los cuales el más conocido es, probablemente, Daniele Bernoulli. A mediados del siglo XVIII, Bernoulli calculó los cambios de energía del agua al fluir por tuberías cerradas; descubrió importantes leyes relativas al movimiento del agua (y de otros fluidos) en tuberías, a la velocidad de su movimiento y a la presión del líquido, y estableció cómo esos factores influyen sobre la eficiencia energética del sistema. Sus estudios tuvieron consecuencias importantes en proyectos de conducciones hidráulicas, bombas,

En esta página, algunos principios de la Hidráulica. A la izquierda, de arriba a abajo: experimento con el cual se demuestra el principio de Pascal, es decir, que la presión ejercida sobre un punto del líquido se transmite por igual en todas las direcciones (A); el principio de los vasos comunicantes, según el cual la superficie libre de un líquido se sitúa a la misma altura en diversos recipientes comunicados entre sí (B); demostración de

que la superficie libre de un fluido es siempre horizontal (C); el diferente comportamiento de los líquidos al mojar más o menos las paredes del recipiente que los contiene: los primeros presentan concavidad, los segundos, convexidad (D). A la derecha, perfil de la sección de una presa capaz de resistir al aumento de presión al aumentar la profundidad de un líquido. La resistencia de la presa aumenta con la profundidad.

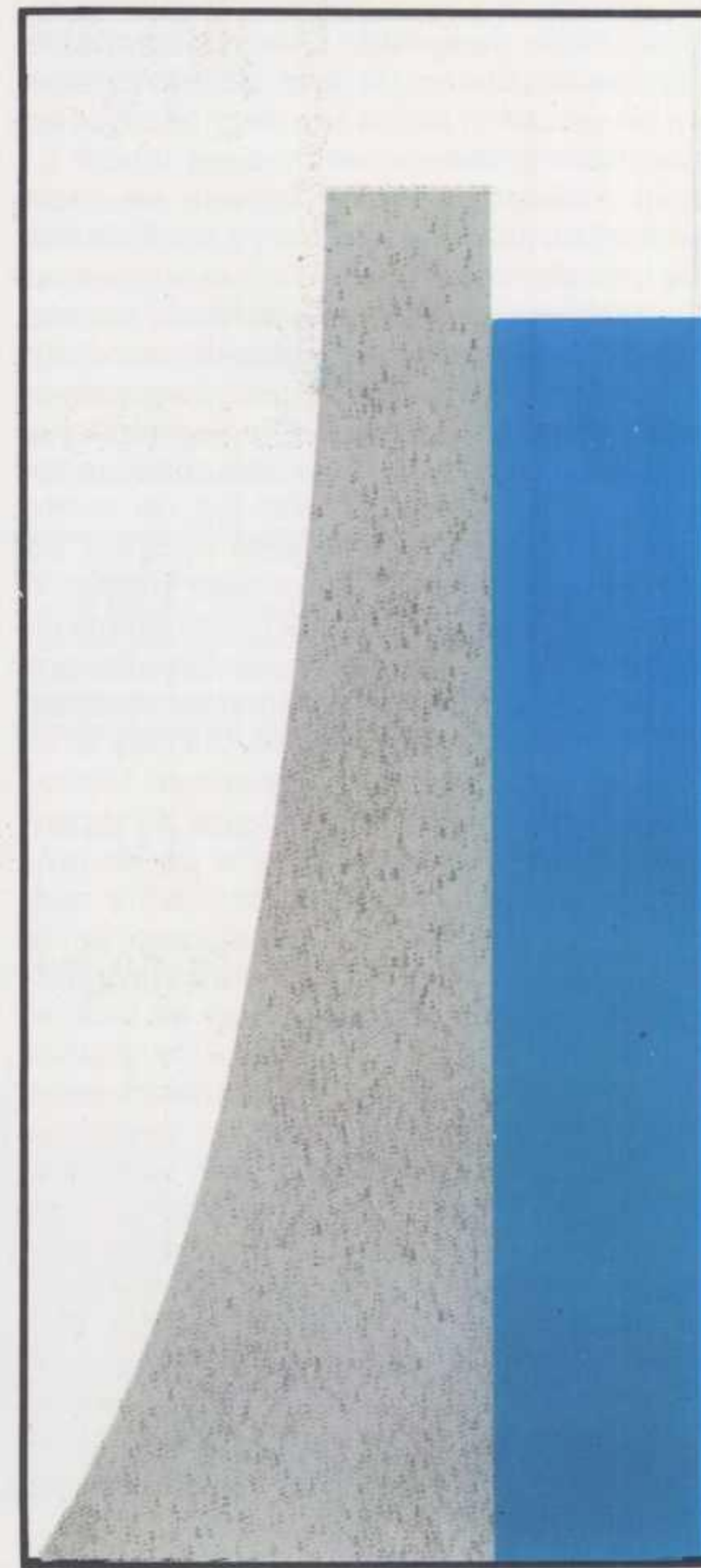
acueductos, etc.: prácticamente en todas las aplicaciones en las cuales esté previsto el flujo de líquidos a través de tuberías.

Teorema de Bernoulli Bernoulli estableció que, en cualquier punto de una tubería en la que circula un líquido, la suma de la energía de presión, de la energía potencial y de la energía cinética es constante. Este hecho se expresa matemáticamente, en lo que se denomina *teorema de Bernoulli*, representado en la fórmula

$$p + h \cdot d \cdot g + 1/2 d \cdot v^2 = \text{constante}$$

en donde p es la presión, h la altura sobre el punto de referencia, d la densidad del líquido, g la aceleración de la gravedad y v la velocidad de circulación.

Principio de Arquímedes Los ingenieros que proyectan presas y obras sumergidas se interesan mucho más por el agua en reposo que por el agua en movimiento. Estos proyectos requieren el conocimiento de la Hidrostática, que es la ciencia de los líquidos en reposo y, con más precisión, de las presiones que éstos ejercen sobre las paredes de los depósitos, sobre los cuerpos flotantes o sobre los objetos sumergidos.

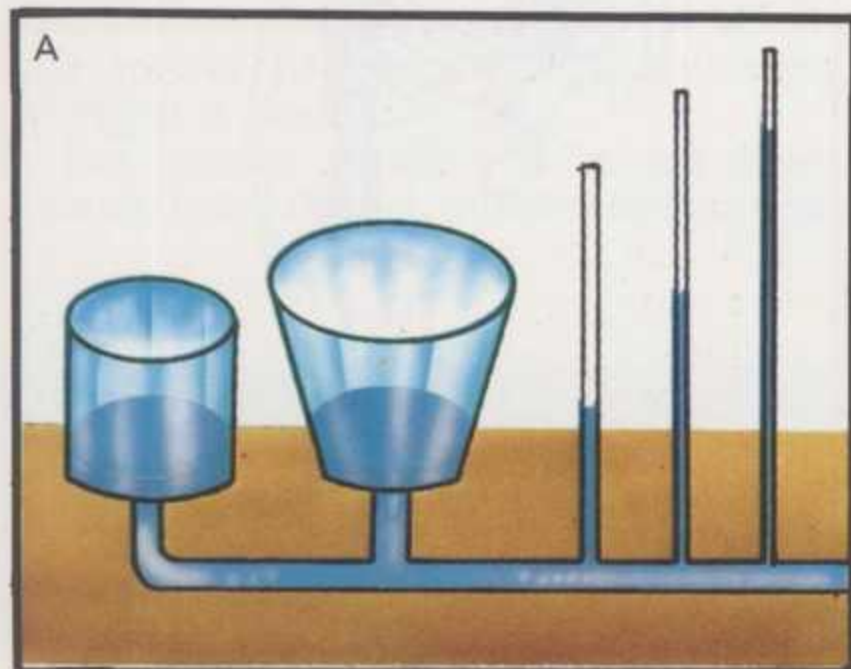


Uno de los primeros descubrimientos científicos de Arquímedes tenía relación con la Hidrostática. Gelón, tirano de Siracusa, había recibido de sus "joyeros" una corona y quería saber si era de oro o si los artesanos que la habían fabricado habían mezclado el oro con otros metales, apropiándose así de cierta cantidad de oro. En esos tiempos nadie tenía la más vaga idea de cómo se podría averiguar tal cosa. Pero, según la leyenda, Arquímedes había llegado a la conclusión de que si se sumerge en un recipiente lleno de agua

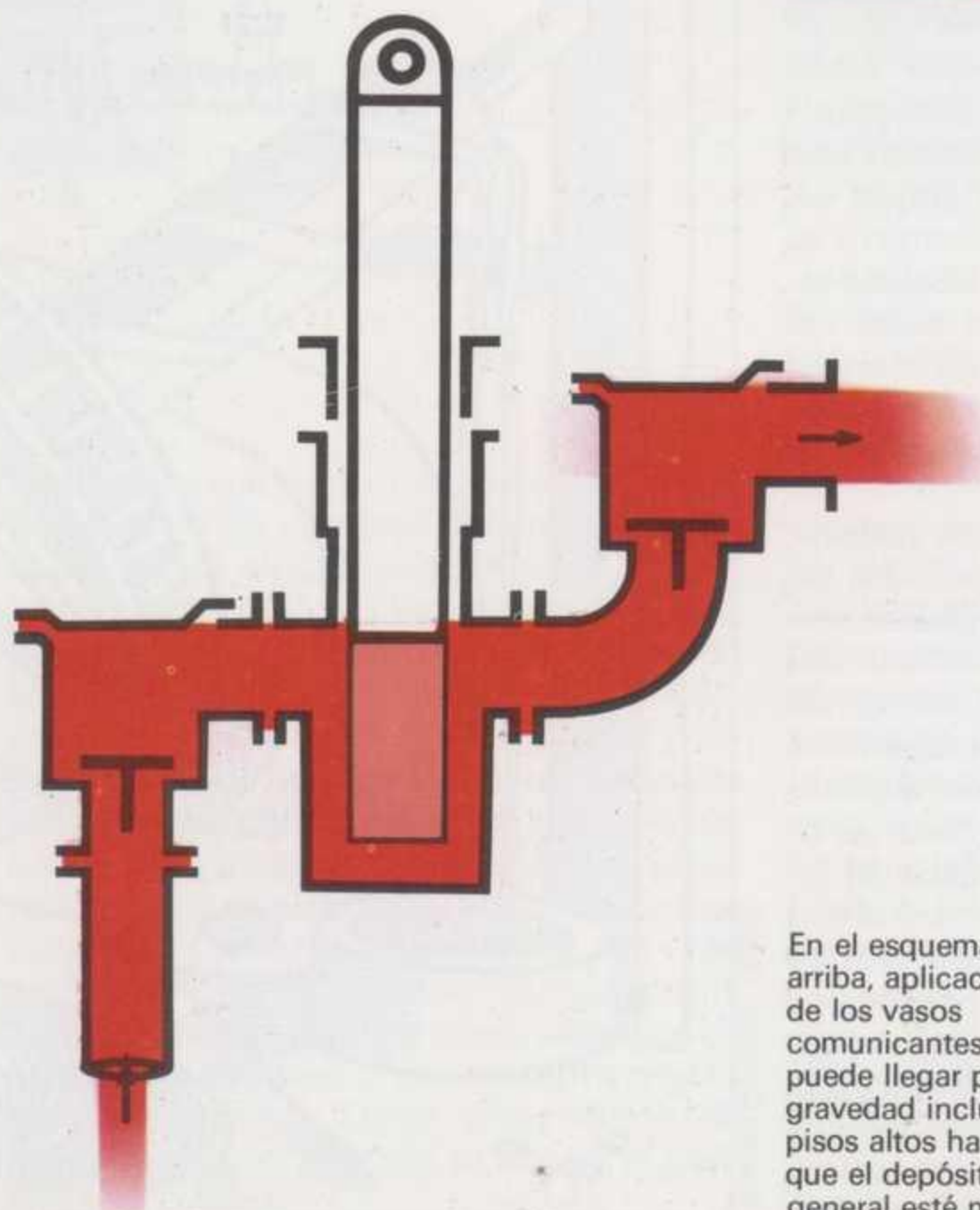
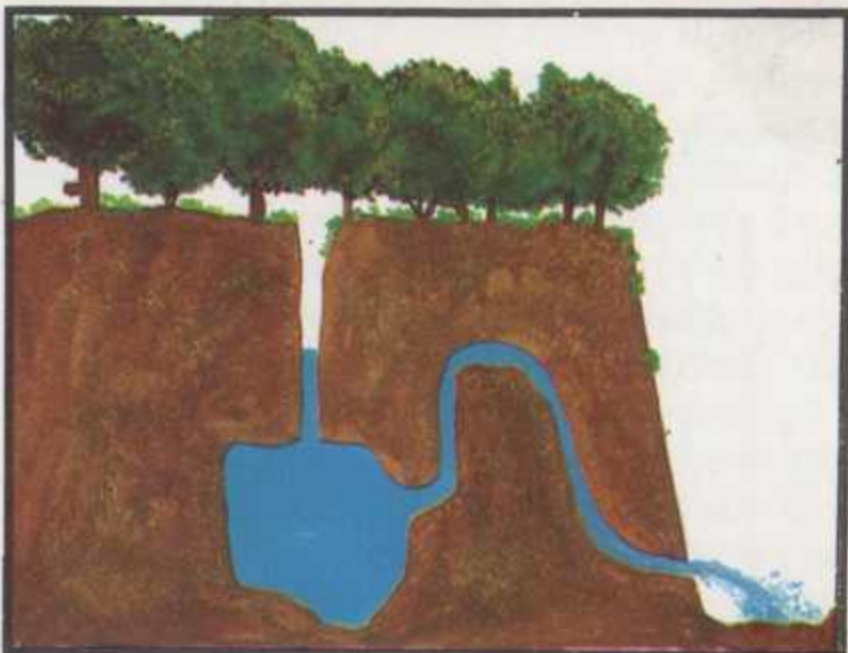
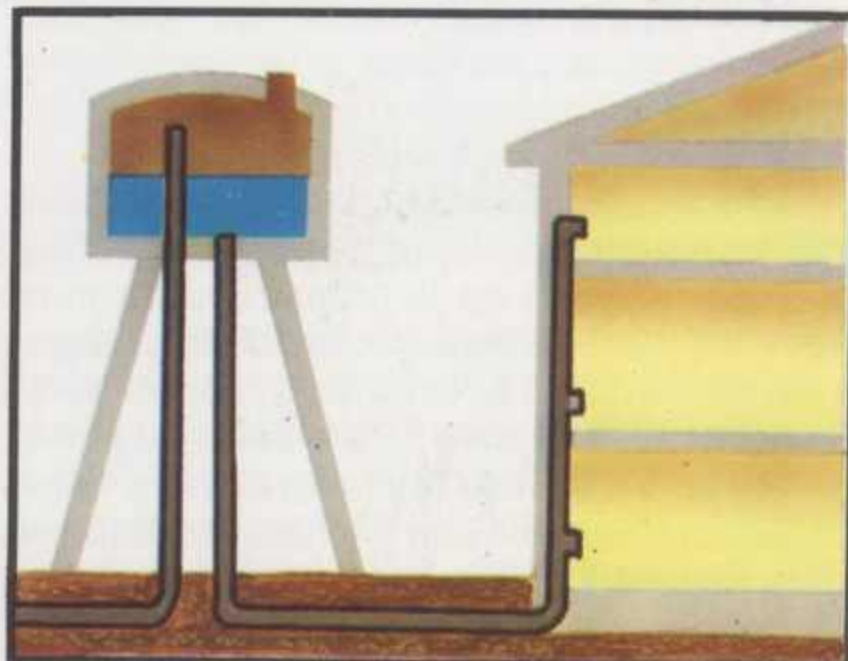
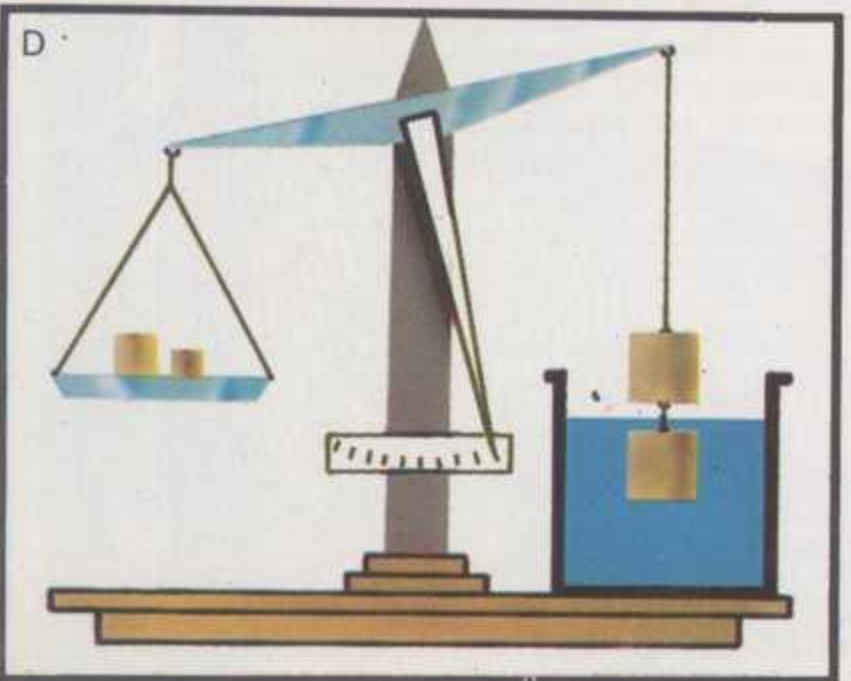
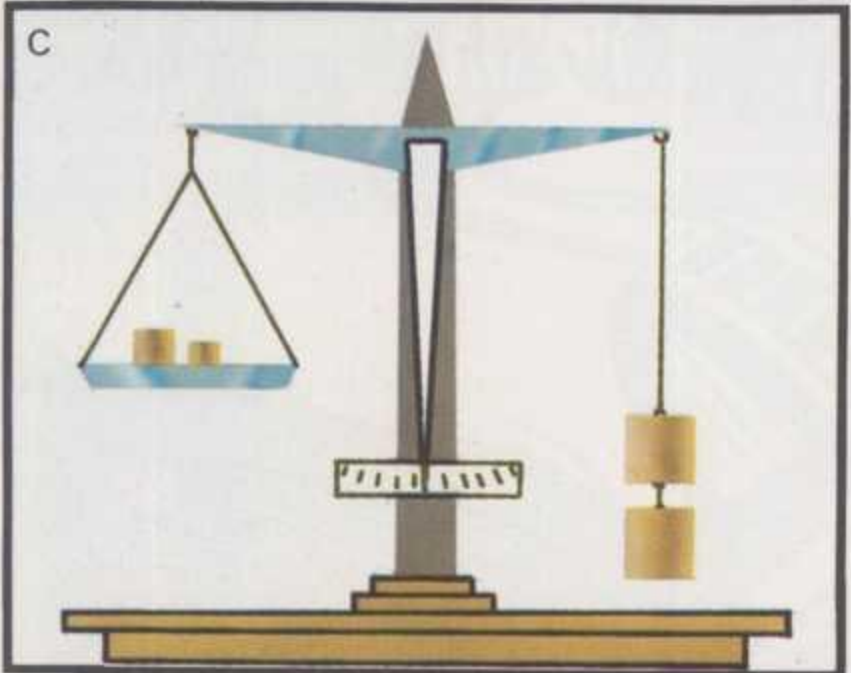
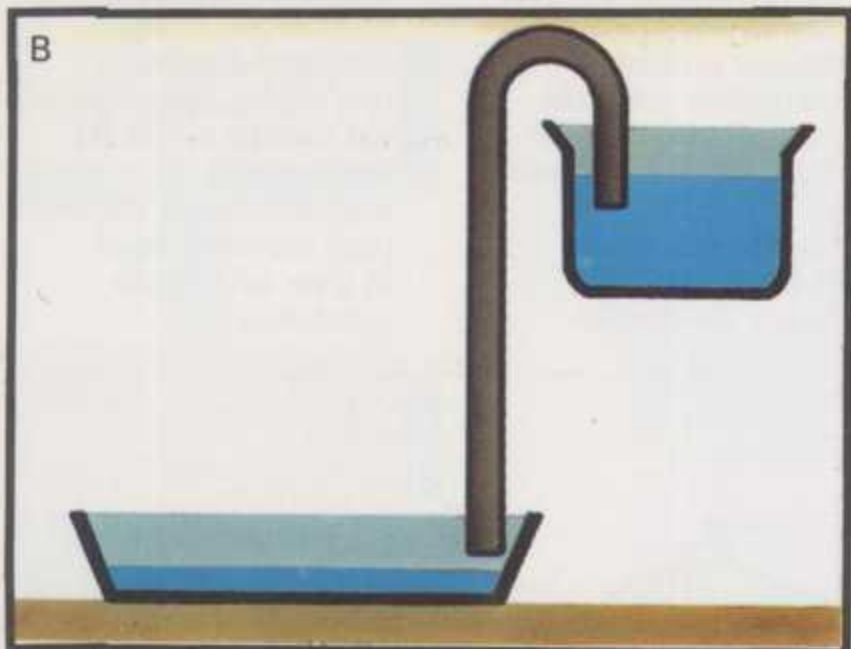
un objeto insoluble, por ejemplo la corona, desplazaría un volumen de agua igual a su propio volumen. Arquímedes dedujo también que si la corona fuese sólo de oro, su peso sería distinto que si hubiese sido, por ejemplo, de oro y plata, porque la plata es menos densa que el oro. Por el contrario, a igualdad de peso, una corona de oro tendría un volumen menor que una corona de oro y plata.

Partiendo de estos principios, para Arquímedes resultó relativamente fácil encontrar la solución del problema: tomó un

trozo de oro puro, lo introdujo en un recipiente adecuado lleno de agua y midió cuidadosamente cuánta agua desplazaba dicho oro. Pesó a continuación el trozo de oro fuera del agua y dividió el peso obtenido por el peso del agua desalojada, obteniendo así el peso específico del oro puro. Repitió este procedimiento con la corona y encontró que ésta tenía un peso específico inferior al del oro puro, es decir, que confirmó la sospecha de que el oro había sido mezclado con plata o con otro metal.



A la izquierda, de arriba a abajo, esquema del fenómeno de capilaridad, según el cual, a medida que el diámetro del recipiente tiende a disminuir, la superficie del líquido tiende a subir respecto al nivel de equilibrio de los vasos comunicantes (A); esquema de funcionamiento del sifón: sumergiendo el tubo en el líquido contenido en el recipiente superior y aspirando entonces por la parte inferior se genera un flujo continuo que hace pasar el líquido del recipiente superior al inferior (B); en los dos últimos esquemas, principio de Arquímedes, según el cual un cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje directo hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desplazado (C, D).



elevado que el más alto de ellos. En el esquema inferior, fuente intermitente. Su funcionamiento se basa en el principio del sifón. Cuando el agua alcanza la parte superior del sifón, sale hacia fuera hasta que el depósito se vacía y libera la embocadura del sifón mismo. A la izquierda, esquema de funcionamiento de una bomba, constituida por una cámara y un cilindro, dentro del cual se mueve un pistón; el movimiento es posible en este caso por disponer de válvula de aspiración y de compresión; cuando el pistón baja, expulsa por la válvula de compresión el agua desplazada en su movimiento; cuando se eleva, nueva agua fluye a la bomba a través de la válvula de aspiración.

En el esquema de arriba, aplicación de los vasos comunicantes. El agua puede llegar por gravedad incluso a los pisos altos haciendo que el depósito general esté más

Arquímedes descubrió también que un objeto que flota desaloja una cantidad de agua equivalente a su peso: es decir, una nave que pesa 80.000 toneladas desplazará una cantidad de agua de 80.000 toneladas de peso.

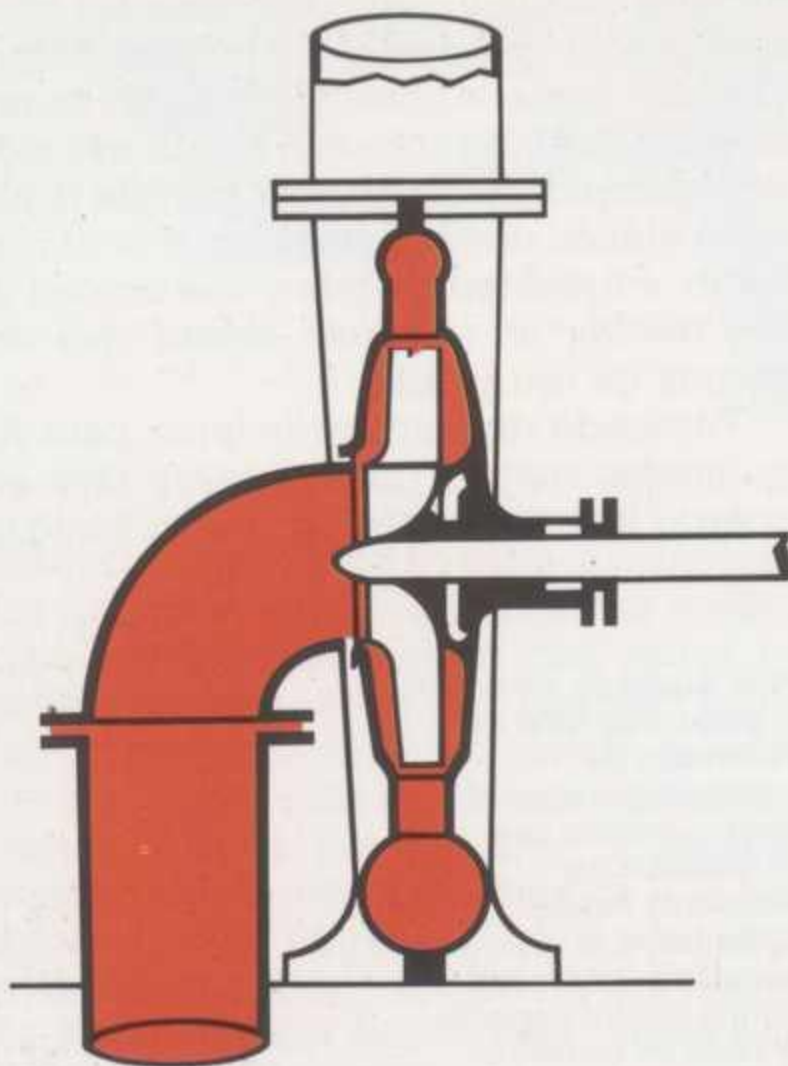
Presión del agua En 1550, Blaise Pascal realizó un hallazgo muy importante para la Hidráulica. A una determinada profundidad, un líquido —como por ejemplo el agua— ejerce una presión idéntica en todas las direcciones; dicho de otra forma, el agua situada a una cierta profundidad dentro de un recipiente, no sólo empuja hacia abajo, sino que empuja de igual manera sobre las paredes y también hacia arriba, de tal modo que la presión es idéntica en todas las direcciones.

El descubrimiento de Pascal fue la base de la invención de la prensa hidráulica, que es utilizada en la industria para muy diversos fines, desde comprimir el algodón en fardos, a la impresión de las láminas. También el gato hidráulico y el puente de elevación de los talleres para vehículos automóviles son prensas hidráulicas. Una prensa, o un gato, consta de un depósito de líquido y de dos cilindros, uno de los cuales tiene un diámetro mucho mayor que el otro. Cada uno de los dos cilindros dispone de un pistón adecuado. Cuando el pistón empuja el líquido en el cilindro más pequeño, el líquido transmite una presión igual en cada punto del interior de la prensa. El pistón más grande se desplazará con una fuerza mayor porque su sección es también mayor: si el cilindro mayor tiene, por ejemplo, una sección 10 veces más grande que el otro, el pistón mayor ejercerá una fuerza 10 veces superior a la del pistón menor. Existen máquinas hidráulicas de elevación tan potentes como para poder elevar con facilidad pesos de 450.000 kg.

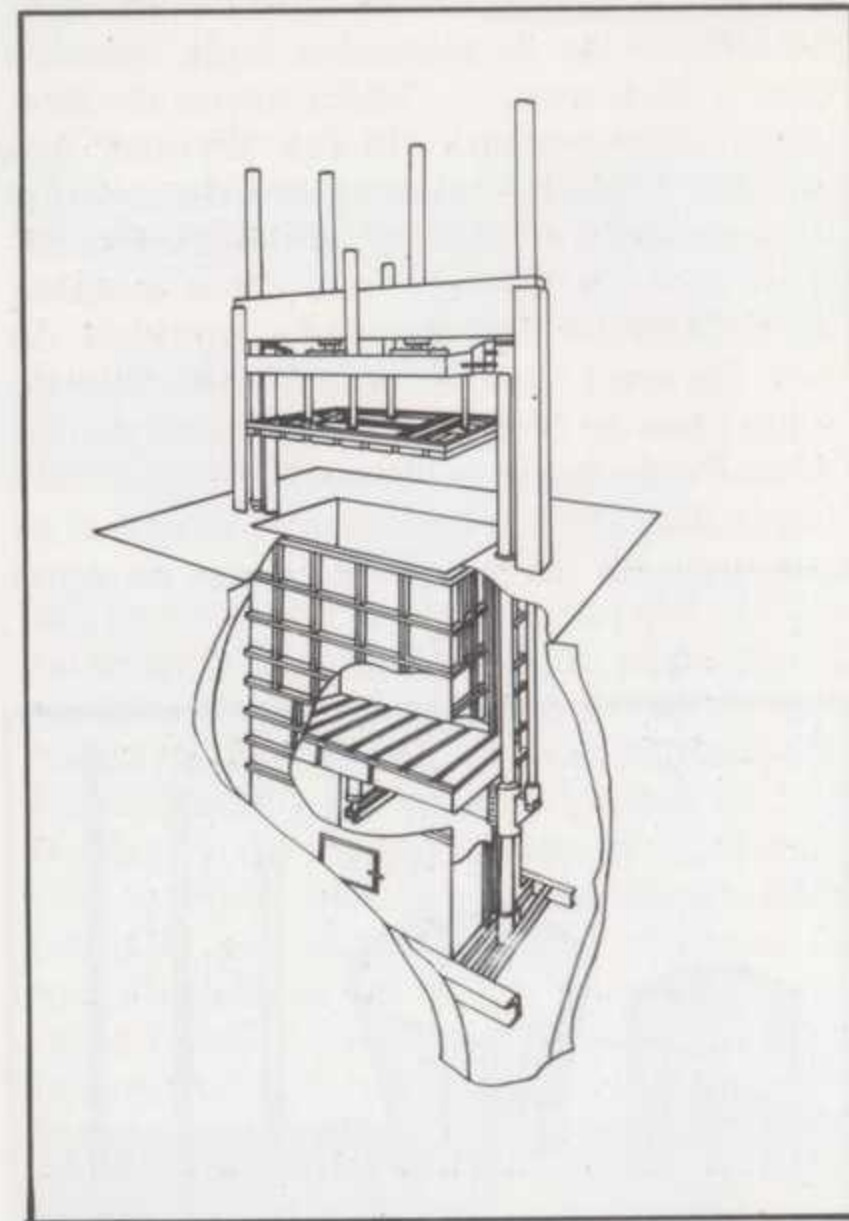
Las máquinas hidráulicas, que están constituidas por tuberías, cilindros, pistones y fluidos hidráulicos, encuentran una amplia variedad de usos. Por ejemplo, en los frenos hidráulicos de un automóvil el pedal del freno está unido a un sistema hidráulico de tuberías que llega hasta las ruedas. Cuando el conductor oprime con el pie el pedal, la presión que ejerce se transmite al fluido hidráulico a través de un pistón.

El fluido, a su vez, ejerce una presión sobre los otros pistones incorporados en cada rueda, provocando el desplazamiento de las zapatas sobre el mecanismo del freno que hace que se pare el automóvil.

Dispositivos análogos son empleados en los aviones para accionar las superficies de control, como los alerones, el timón y el equilibrador. Estos sistemas hidráulicos son tan vitales para la seguridad de los aviones que casi siempre existen dos sistemas hidráulicos independientes para el caso en que en el principal se produzca algún fallo. Si, por ejemplo, hay una pérdida de fluido hidráulico en el sistema principal, el piloto lo aísla y pone en funcionamiento el segundo, que asume por

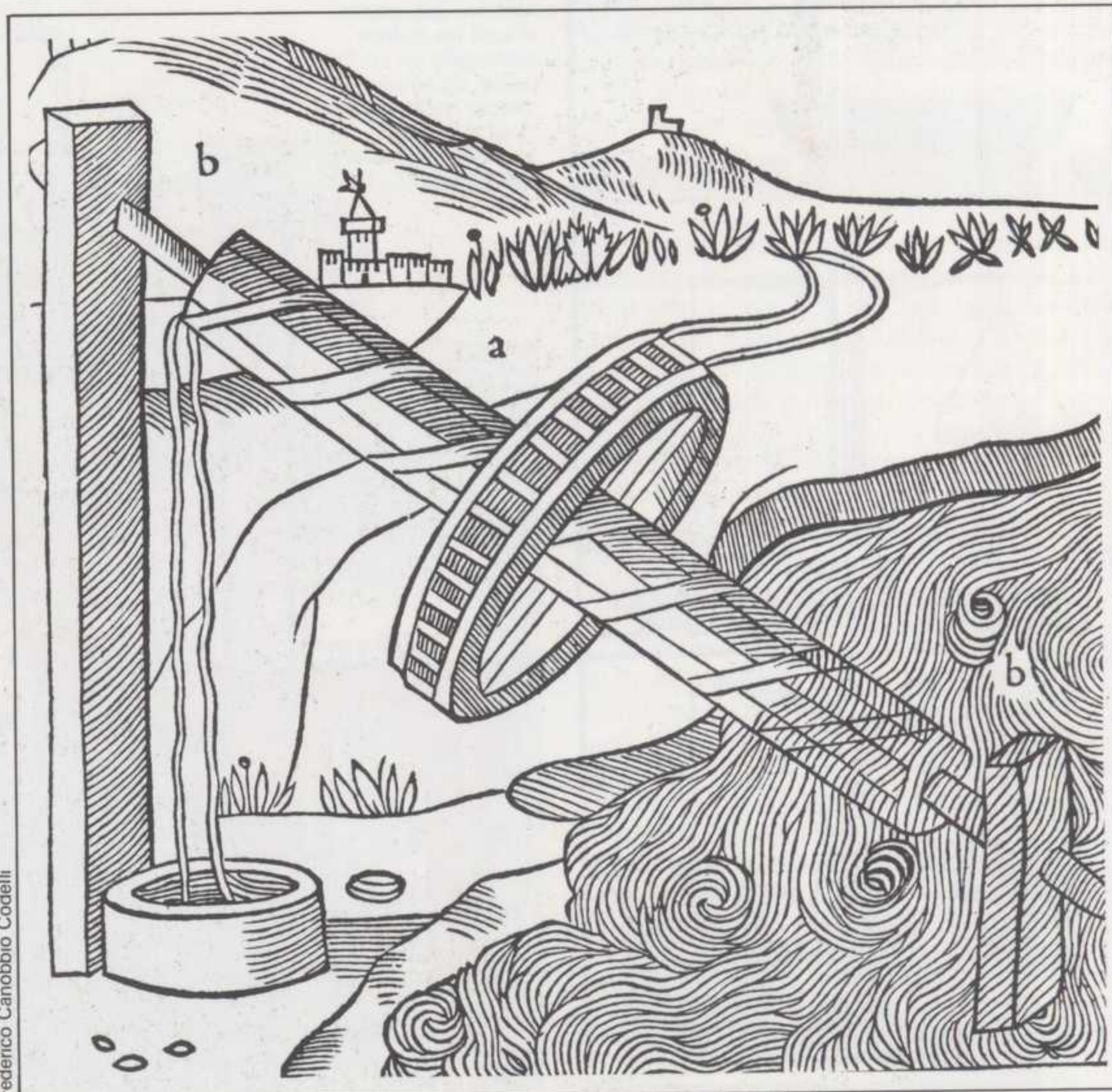


Arriba, sección a lo largo del eje de una bomba centrífuga. En el fluido a bombear se introduce el conducto central. El rodete de la bomba imprime al fluido una energía mayor. El flujo discurre a través del anillo circular de envío.



En la imagen de la derecha se representa el corte de una prensa hidráulica utilizada para el embalaje de desperdicios. Basada en el principio de Pascal, consigue obtener una gran fuerza de trabajo

empleando una pequeña cantidad de energía. Abajo, ilustración sobre una de las aplicaciones del tornillo sinfín de Arquímedes. El dispositivo era utilizado para elevar el agua al girar una rueda hidráulica.



Federico Canobbio Codelli

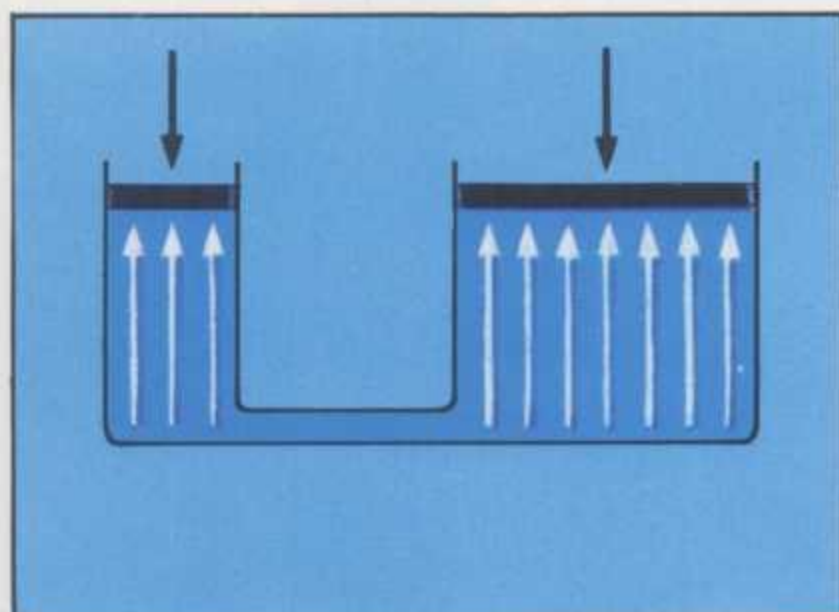
lo tanto el control de los órganos de mando del avión.

Catapultas Generalmente, cuando una persona usa un elevador hidráulico, es para elevar un peso considerable. En la operación, el peso se mueve lentamente hacia arriba mientras el líquido en el cilindro más pequeño desciende rápidamente hacia abajo. En una catapulta, como las que sirven para lanzar los aviones en

el puente de un portaaviones, el concepto se invierte. Por medio de aire comprimido se ejerce una presión sobre el cilindro mayor del sistema hidráulico y, como consecuencia, el pistón del cilindro más pequeño, que está unido al avión, se mueve rápidamente y con una carrera mucho más larga. Entonces se produce un empuje hacia adelante que proporciona al avión una velocidad que es suficiente para que inicie el vuelo.

Motores hidráulicos Los motores hidráulicos son los más adecuados cuando entran en juego presiones verdaderamente grandes. Motores de este tipo accionan, por ejemplo, las prensas de imprenta, las prensas hidráulicas para el arrastre de planchas y mueven los timones de las grandes naves, como los superpetroleros.

Véase **Física de fluidos; Presión; Transmisión hidráulica; Turbina hidráulica**



Ompi S.v.l., Rozzano, Milán

Arriba, esquema del principio de la prensa hidráulica: cambiando las superficies, varía la relación entre las fuerzas aplicada y obtenida. A la derecha, aplicación de la prensa hidráulica en una instalación para embalaje continuo.

Debajo, turbina hidráulica Kaplan, capaz de transformar en energía mecánica la energía del agua en movimiento. Esta turbina pertenece a las instalaciones de la central hidroeléctrica de Nova Avanhandava, en Brasil.



Hydroart S.p.A., Milán

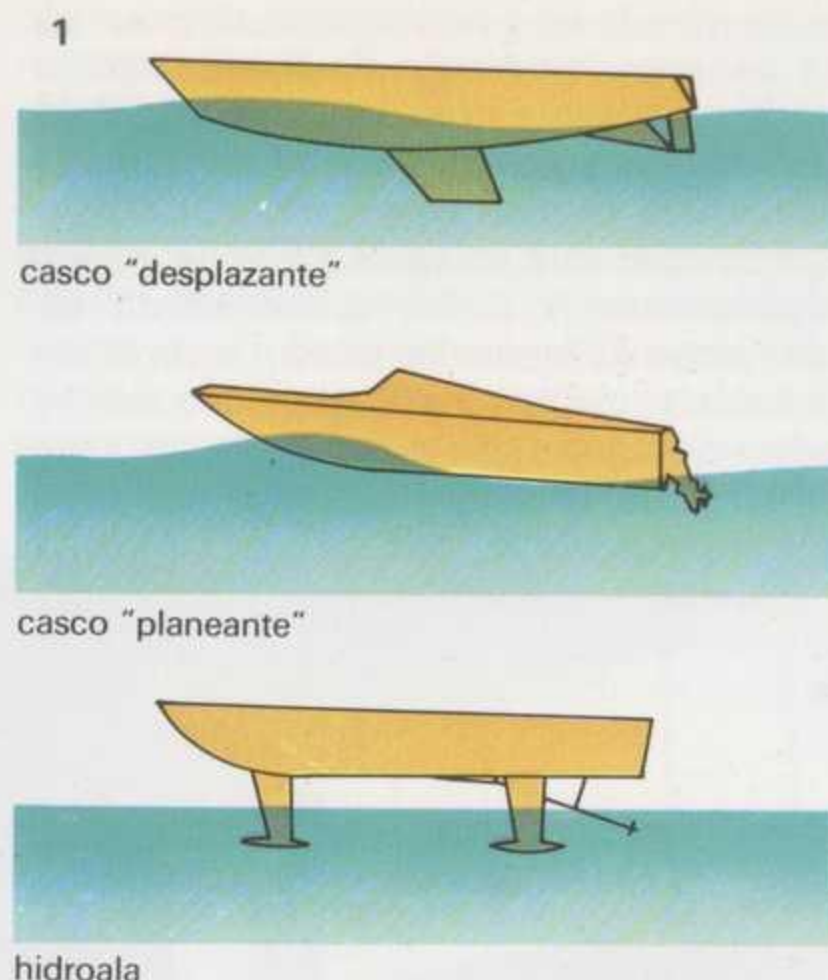
Hidroala

El término *hidroala*, o *hidrofoil*, se refiere técnicamente a embarcaciones de motor cuyo casco se levanta sobre el agua, reduciéndose así la resistencia al avance, lo que les permite desplazarse más rápidamente que un barco convencional. Los hidroalas son embarcaciones que reflejan la actual exigencia de una mayor velocidad y versatilidad en el transporte sobre el agua.

Cómo funciona El casco de un barco normal se mantiene a flote en virtud del principio de Arquímedes, es decir, se hunde en el agua hasta que desplaza un volumen de agua cuyo peso iguala al del barco mismo. Este principio es adecuado para sostener el casco, pero ya no lo es tanto cuando se trata de moverlo. Efectivamente, cuando un barco de este tipo se desplaza en el agua mediante hélices (o cualquier otro tipo de propulsión) debe "abrirse camino" en el agua, "apartándola" y "amontonándola" por delante; en esta situación existen dos posibilidades: franquear el "montón" de agua que hay delante, o esperar a que éste se disperse en forma de ola. Esta segunda alternativa es la que siguen normalmente los cascos del tipo "desplazante". El inconveniente de este método consiste en que la ola se aleja hacia adelante con una velocidad proporcional a la raíz cuadrada de la longitud del casco de la embarcación. Únicamente cascos muy largos, como los de los grandes barcos, pueden moverse con la velocidad adecuada. Para superar la velocidad de la ola es necesario consumir mucha energía y la navegación en estas condiciones ya no es conveniente.

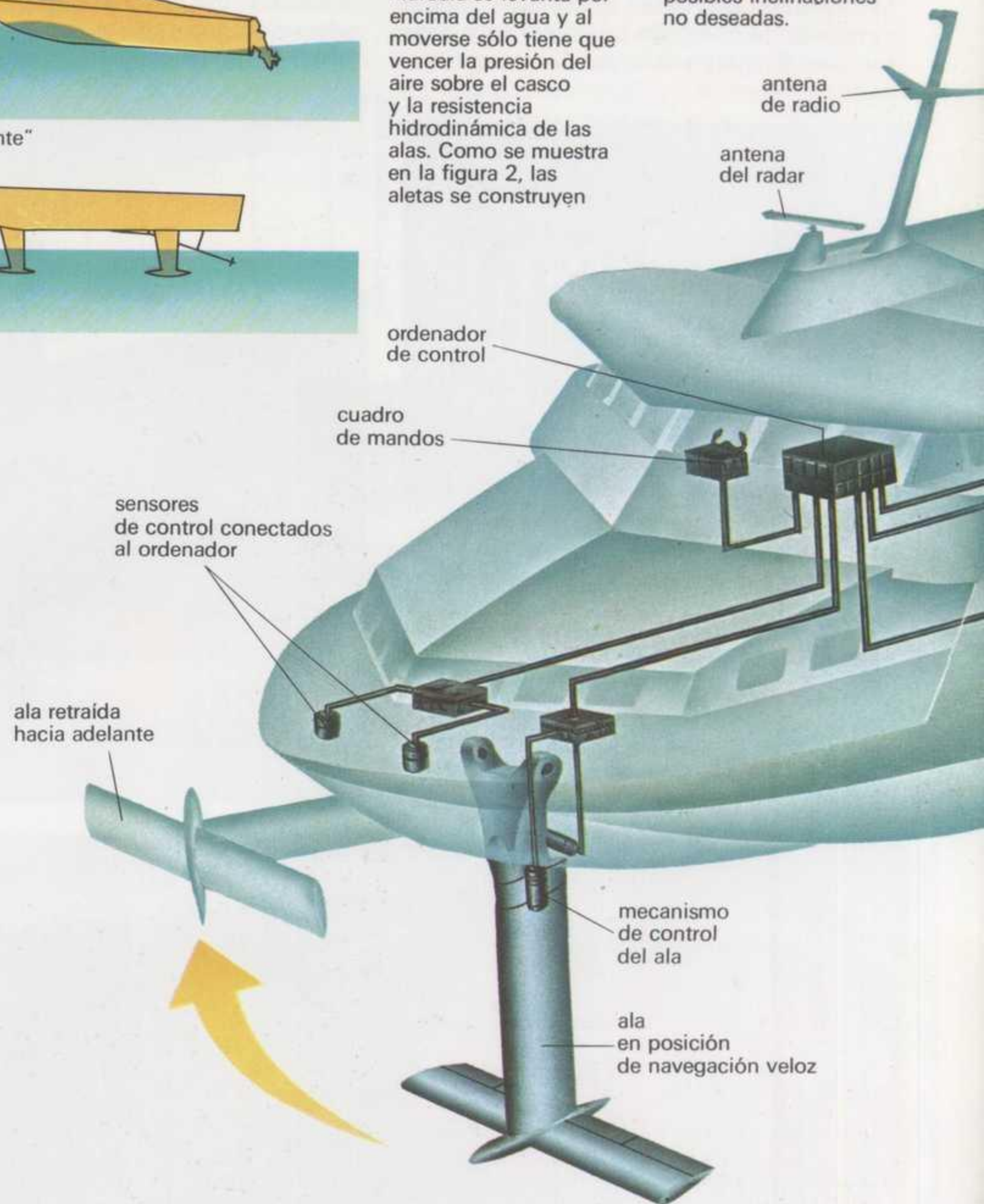
El hidroala resuelve el problema de la resistencia de la ola elevándose por encima del agua y manteniendo sumergidas unas alas o patines que lo sostienen mientras la velocidad sea lo bastante alta. A bajas velocidades funciona como un barco normal capaz de flotar y moverse lentamente en el agua, lo que es necesario para maniobrar en un puerto o permanecer fondeado. Cuando el casco se mueve lentamente en el agua, el efecto de las alas no se percibe; pero cuando los potentes motores impulsan la embarcación con velocidad suficiente, las alas funcionan como las de un avión y levantan el hidrofoil por encima del agua.

Las alas de un avión, cuando se mueven en el aire, consiguen que éste, deslizándose alrededor de su perfil, se comprima por debajo y se expanda por encima. De este modo, el ala es "aspirada" hacia arriba y el avión se sostiene en el aire. El ala sumergida del hidrofoil actúa de la misma manera. Pero al ser el agua unas 750 veces más densa que el aire, con unas aletas diminutas (al menos en comparación con el casco) y velocidades mucho menores que las necesarias para que el avión vuele es perfectamente posible generar una fuerza de sustentación que resulte suficiente para levantar el pesado casco por encima de la superficie del agua.

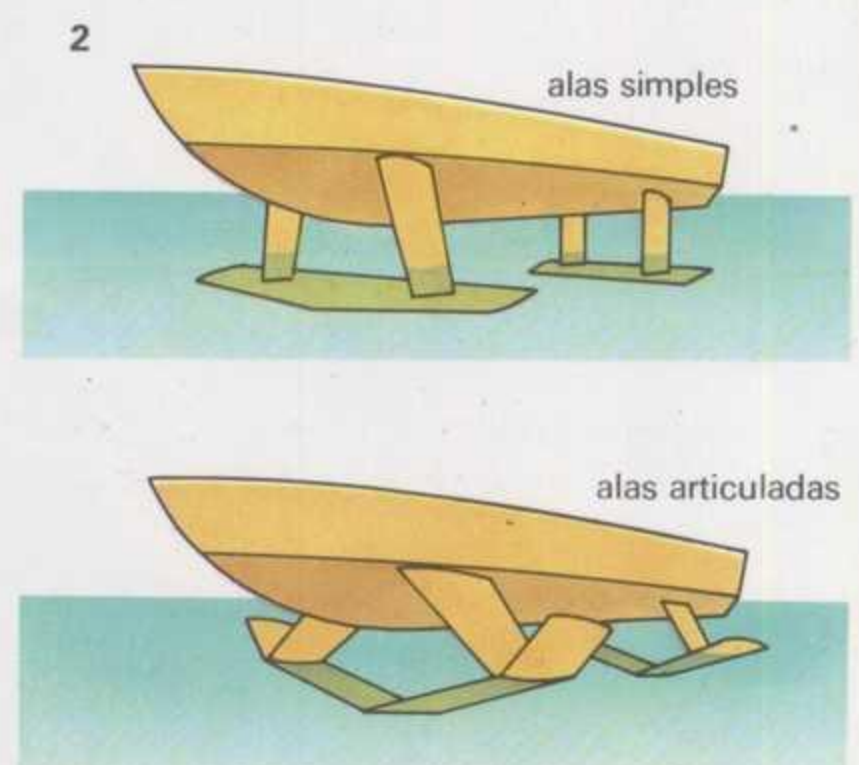


En la figura 1, un casco "desplazante" se mueve sumergido en el agua y levanta delante de él una ola que limita su velocidad. Un casco "planeante" remonta la ola que se produce por delante. Un hidroala se levanta por encima del agua y al moverse sólo tiene que vencer la presión del aire sobre el casco y la resistencia hidrodinámica de las alas. Como se muestra en la figura 2, las aletas se construyen

con forma de V, lo que permite a la embarcación no inclinarse lateralmente. Es necesario disponer de mecanismos que muevan las alas como si fueran timones para poder corregir las posibles inclinaciones no deseadas.

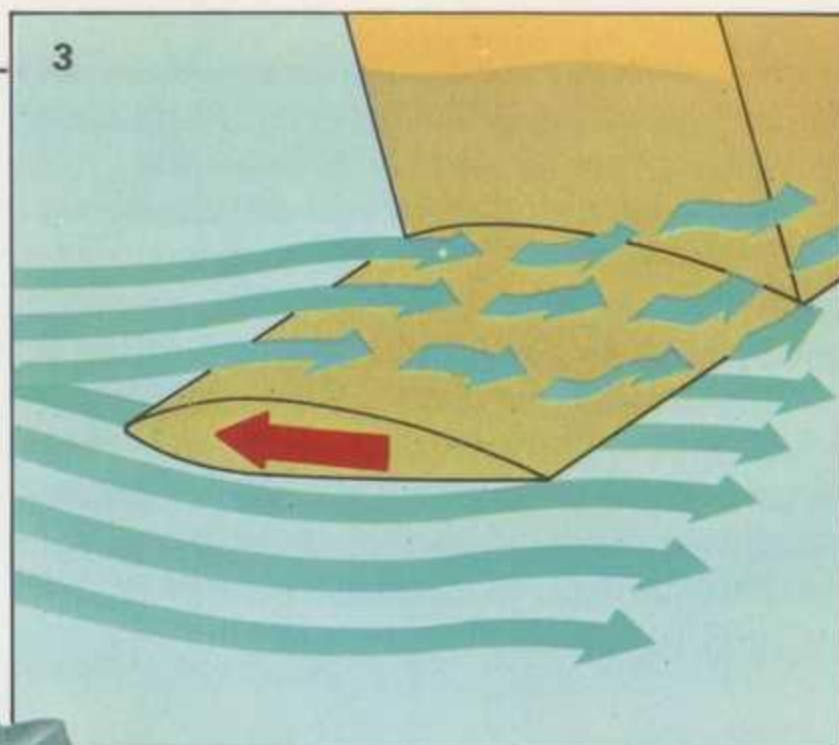


Cuando el hidrofoil navega sostenido por sus alas, que lo mantienen fuera del agua, surge el problema de conseguir que se mantenga en equilibrio, tanto cuando el mar está en calma como cuando está movido. El perfil de las alas y su disposición ayudan a mantener el equilibrio; además, un complejo sistema electrónico permite medir los cambios en la situación del mar, produciéndose pequeñas y rápidas rotaciones de las alas que devuelven el barco a su posición normal.

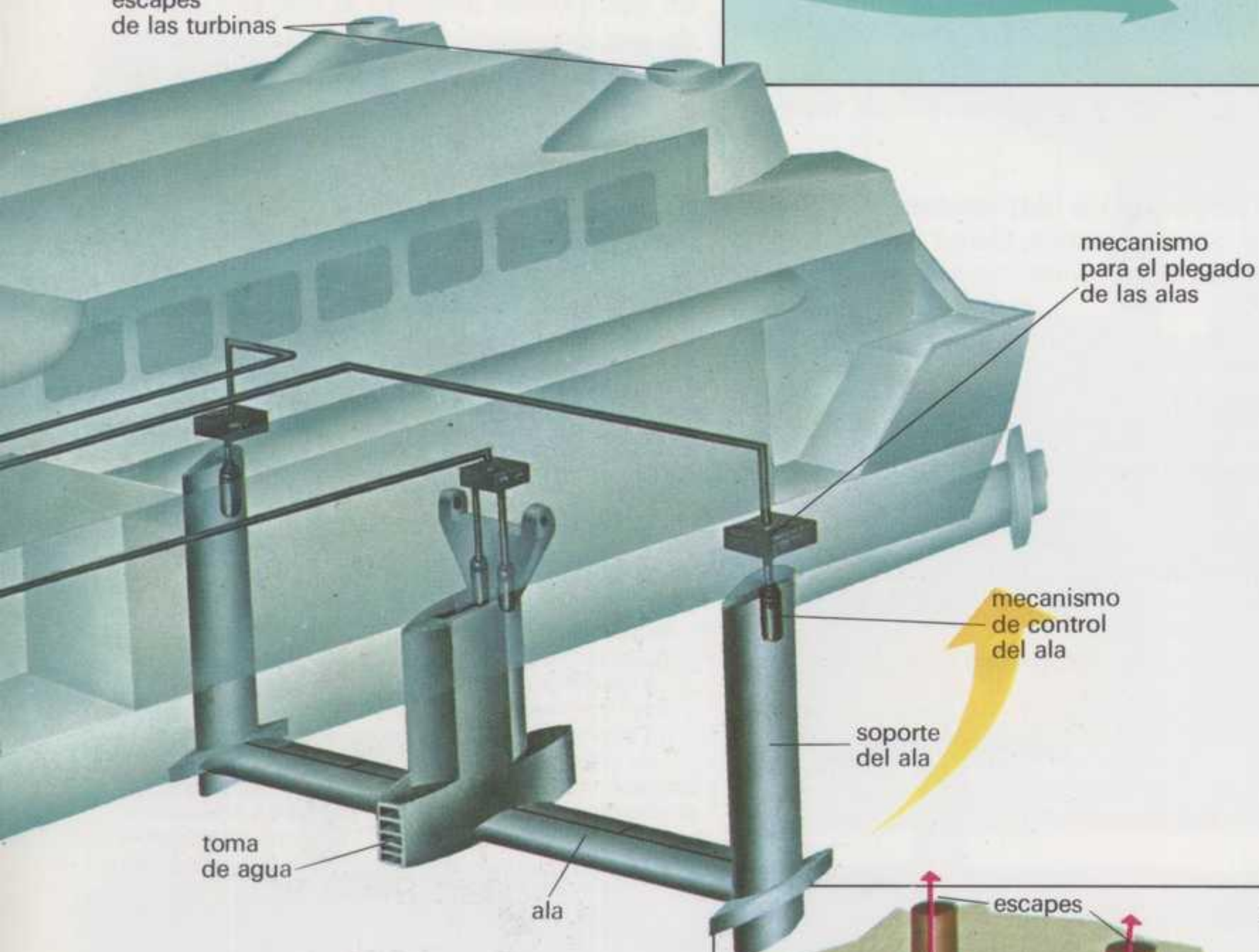


Como el agua es un medio muy denso, es suficiente la actuación de pequeñas alas para obtener la fuerza de sustentación necesaria. En la figura 3 puede verse la sección de un ala, que es parecida a la de un avión. Contrariamente a lo que ocurre con

las de un avión, las alas del hidrofoil deben ser estudiadas de modo que con ellas no pueda producirse el fenómeno de la cavitación. En aguas poco profundas, las alas del hidrofoil se sacan del agua para evitar que rocen con el fondo.

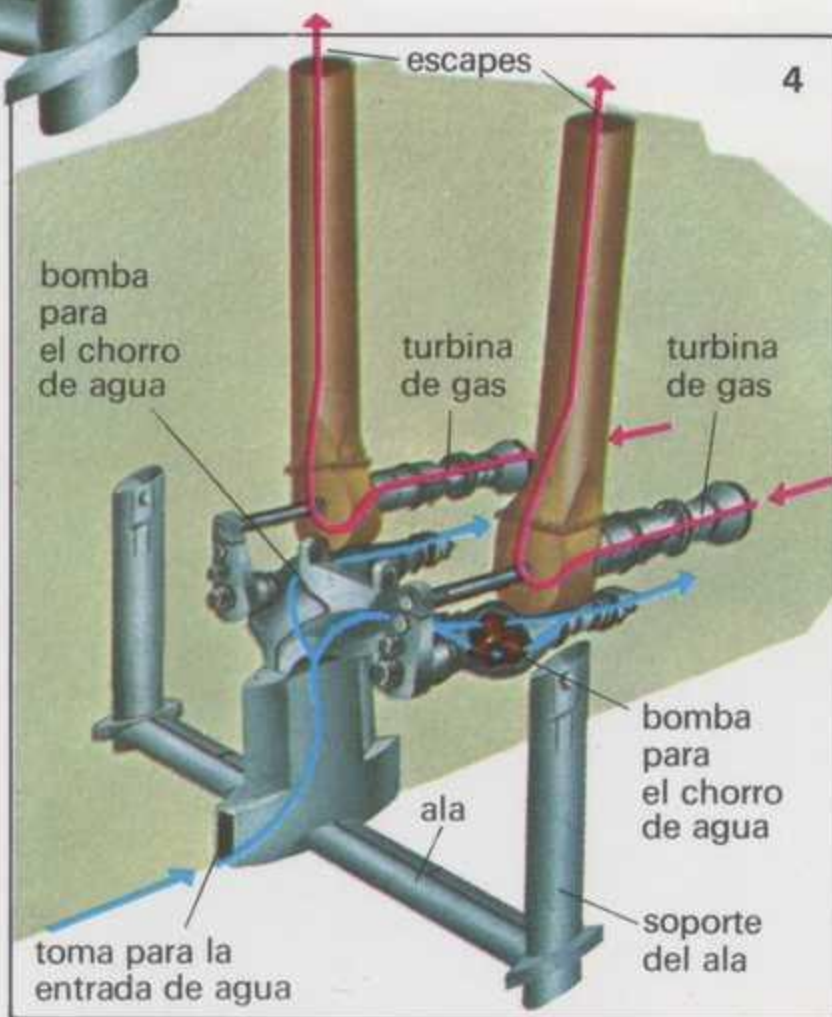


escapes de las turbinas



En la figura central puede verse el casco con las alas en posición de navegación veloz (las flechas muestran cómo giran para salir del agua en el caso de navegación en aguas poco profundas). El hecho de que durante la navegación rápida el casco se eleve por encima del agua plantea el problema de la propulsión. Es necesario que la hélice permanezca sumergida a cierta profundidad; a veces se emplea un

sistema de propulsión a chorro. La gran potencia necesaria para la navegación veloz se consigue con el empleo de turbinas de gas de tipo aeronáutico modificadas para adaptarlas a este uso (figura 4). El agua se extrae de la toma situada en el brazo central de sostén de las alas posteriores y se bombea hacia atrás a nivel de la superficie o incluso por encima de ella hacia el aire.



Las olas influyen poco en el equilibrio y en la navegación de estas embarcaciones, pues no golpean el fondo del casco y su efecto sobre las aletas sumergidas es nulo. En el caso de que el mar esté muy movido y las olas sean tan altas que alcancen el casco, el hidroala puede siempre disminuir su velocidad, sumergir el casco y continuar navegando como un barco normal. Algunos modelos lo hacen sin retraer las aletas; otros, sin embargo, pueden hacer girar los brazos o soportes del patín en torno a unas bisagras colocadas a

propósito y sacarlos del agua (esto es muy útil para navegar en lugares poco profundos).

La propulsión del hidroala La potencia que necesita el hidroala para navegar como un barco convencional es relativamente pequeña. La navegación en estas condiciones sirve para maniobrar a la entrada y a la salida de los puertos o para recorrer una parte de su trayecto cuando el mar está "picado" y no se puede navegar sobre las alas. En los dos casos la veloci-

dad es baja y la potencia requerida también lo es. Para la navegación veloz, sin embargo, la potencia necesaria es elevada: ésta se suministra a una hélice accionada por un larguísimo eje que sale hacia la mitad del casco y se sumerge en el agua por detrás del ala posterior. En los modelos más comunes, con un tamaño apreciable, se utiliza un pequeño motor Diesel para la primera función y una turbina de gas para la segunda. Estas turbinas son apropiadas para suministrar una gran potencia durante breve tiempo, siendo ligeras y ocupando poco espacio. También hay modelos que utilizan un único y potente motor Diesel. Esta segunda versión es a menudo elegida en las aplicaciones civiles para las cuales el coste de una turbina de gas, muy superior al de un motor Diesel, puede ser excesivo.

El hidroala en sus inicios y su actual utilización

No es posible asegurar la fecha del primer viaje realizado por un hidroala. Un catamarán patentado y pilotado por el conde de Lambert en 1897 se desplazaba sobre cuatro patines, pero todavía es bastante dudoso que respondiese a los principios de funcionamiento del hidroala. La primera embarcación claramente identificable como un hidrofoil se botó en 1898, bajo la dirección del inventor italiano Enrico Forlanini. Este tipo de embarcación era capaz de alcanzar una velocidad comprobada de aproximadamente 80 km/h. El hidrofoil construido por Alexander Bell y Casey Baldwin en 1918 alcanzaba una velocidad de 60 nudos, batiendo de esta forma el récord mundial de velocidad en el agua de aquel momento.

En los años treinta el hidrofoil mejoró notablemente sus prestaciones, siéndole posible alcanzar dimensiones y peso notablemente superiores. Durante la II Guerra Mundial los alemanes construyeron modelos de hidroala con pesos de hasta 80 toneladas y que podían alcanzar velocidades de 60 nudos; pero los aliados consiguieron —bombardeándolos— evitar su utilización en operaciones militares.

El hidrofoil se ha difundido como medio de transporte sobre todo en la Unión Soviética, mientras que en Estados Unidos ha sido utilizado principalmente con fines militares; alcanzó gran popularidad en el mercado en los años setenta, cuando las nuevas tecnologías permitieron construir modelos con pesos de 50 toneladas que podían viajar a velocidades de 40-50 nudos. Actualmente están entrando a formar parte de las flotas de las compañías civiles de transporte. En España la Compañía Transmediterránea utiliza hidroalas en servicios regulares entre Tenerife y Las Palmas. De esta forma es posible verlos fondeados junto a los grandes *ferry-boats*, mostrándose como un nuevo medio de transporte con características notablemente innovadoras.

Véase Ala de avión; "Hovercraft"

Hidrocarburos

Sin la presencia de elementos tan importantes como la gasolina para los automóviles, el queroseno para los aviones a reacción, los combustibles para las centrales, etc., nuestra civilización sería, indudablemente, muy diferente. Todos estos combustibles están constituidos por *hidrocarburos*, compuestos químicos utilizados también como materia prima para colorantes, materiales plásticos, gomas sintéticas y fibras sintéticas, productos que tienen una influencia enorme en nuestra manera de vivir.

Como sugiere el mismo nombre, los hidrocarburos son compuestos constituidos exclusivamente por átomos de carbono y de hidrógeno. Por lo general, los átomos de carbono y de hidrógeno pueden combinarse de diversas formas, existiendo prácticamente millares de hidrocarburos.

En los laboratorios, los químicos sintetizan continuamente nuevos hidrocarburos; sin embargo, no pueden obtener todos los tipos teóricamente posibles, aunque estén capacitados para ello, debido a que éstos son ilimitados. Existen, en efecto, millones de posibilidades de combinación entre los átomos que forman los diferentes compuestos. Este abanico de posibilidades encuentra justificación, entre otros, en los hechos siguientes: el carbono puede formar enlaces sencillos, dobles y triples; origina cadenas a veces larguísimas, sencillas y ramificadas; con frecuencia los átomos de carbono forman cadenas cíclicas muy diversas.

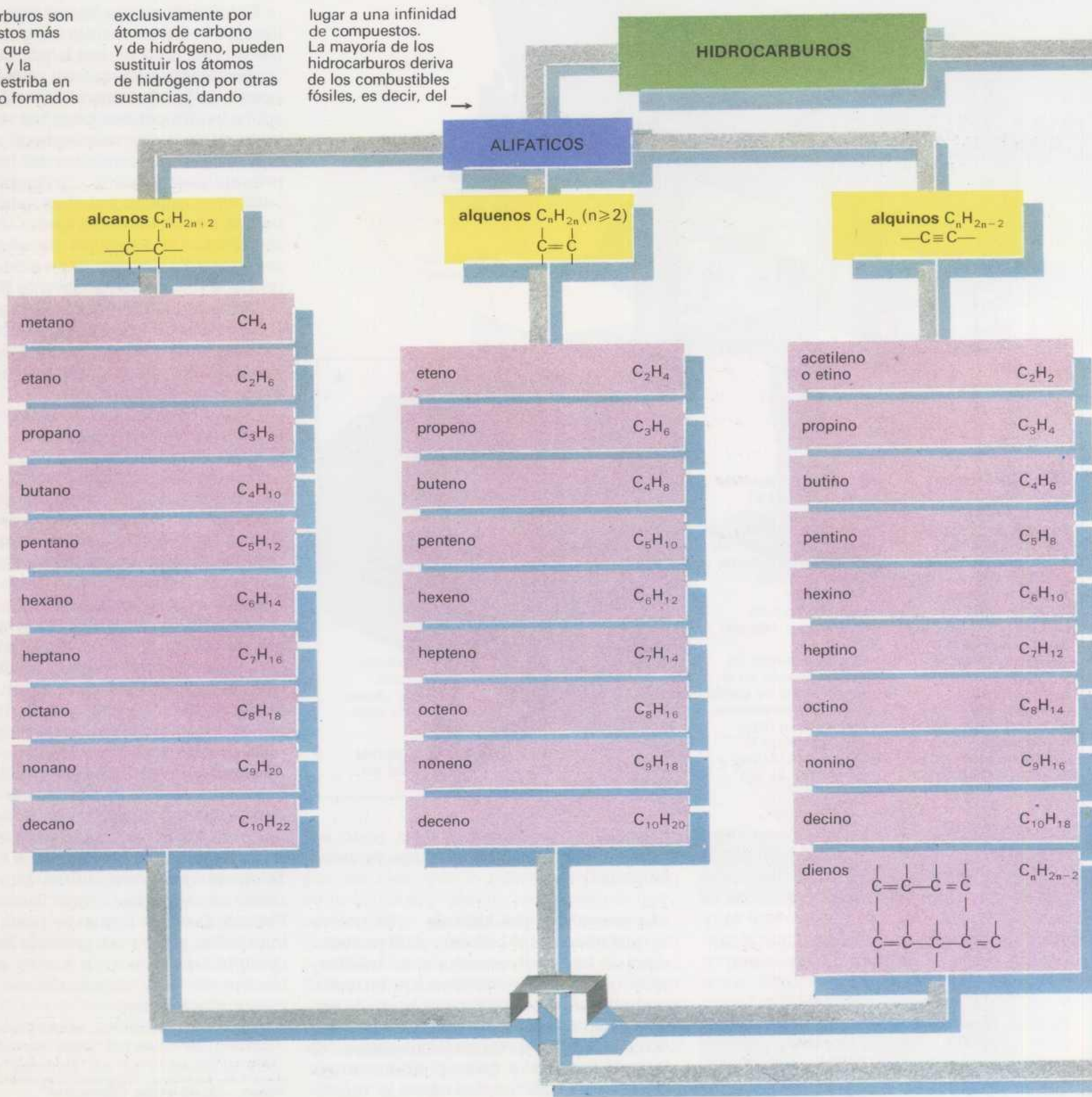
El origen de los hidrocarburos La mayoría de los hidrocarburos deriva de los combustibles fósiles, tales como el petró-

leo y el carbón. Cuando el petróleo bruto es sometido a refinación, se obtiene una gran variedad de hidrocarburos. Los productos más importantes que se suelen obtener son la gasolina, el queroseno, los aceites combustibles, el metano, las parafinas y los asfaltos. El *metano* es el compuesto químicamente más sencillo de todos los obtenidos. Está constituido por un átomo de carbono con cuatro átomos de hidrógeno unidos a él (CH_4). El *etano* es un compuesto análogo al metano, formado por dos átomos de carbono unidos entre sí mediante un enlace sencillo y con seis átomos de hidrógeno unidos a los dos átomos de carbono (C_2H_6). El metano y el etano son los primeros integrantes de una serie de compuestos denominados *alcanos*. Otros tipos de alcanos son el *propano* (C_3H_8), el *octano* (C_8H_{18}) y el *decano*

Los hidrocarburos son los compuestos más importantes que conocemos, y la explicación estriba en que, estando formados

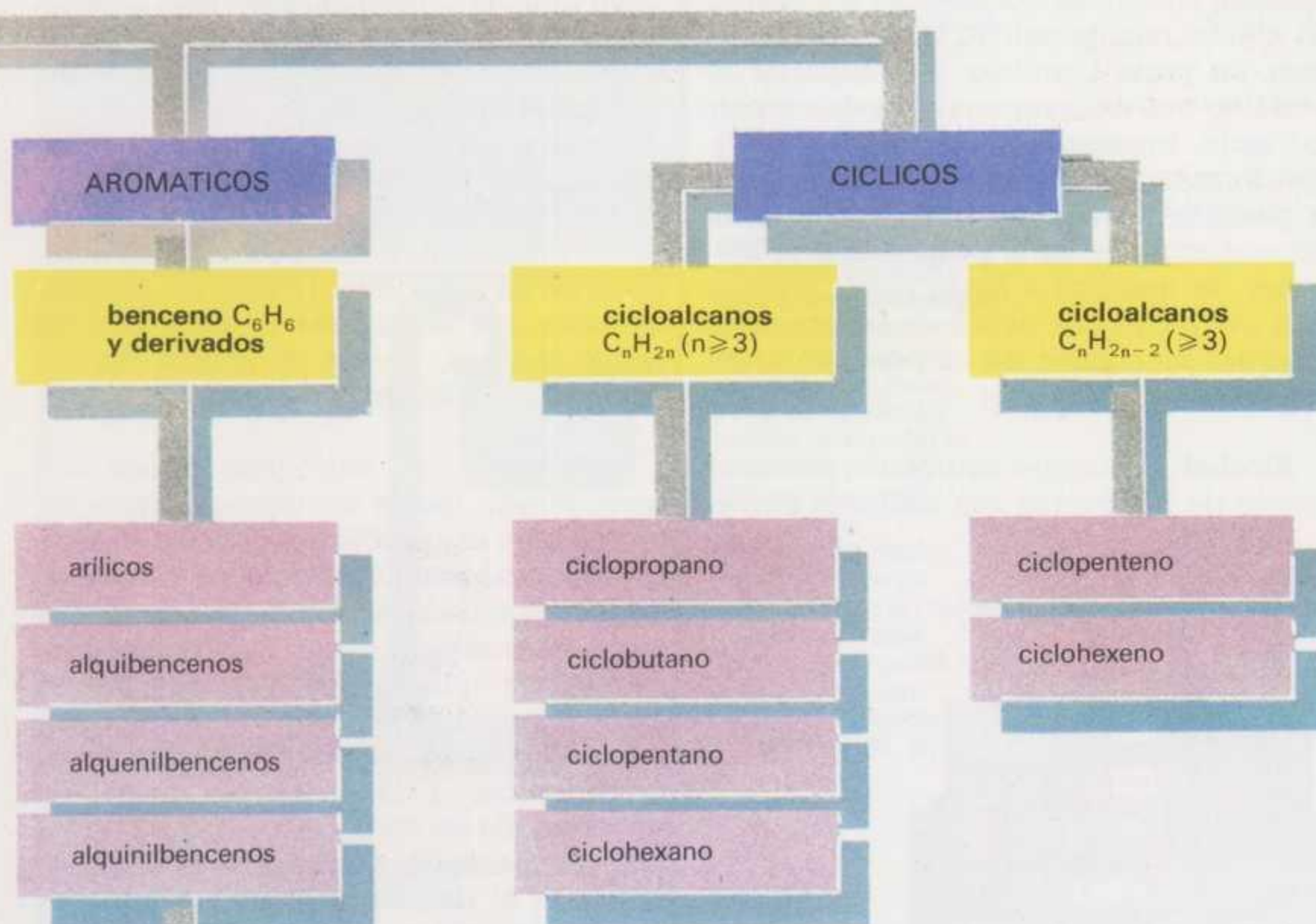
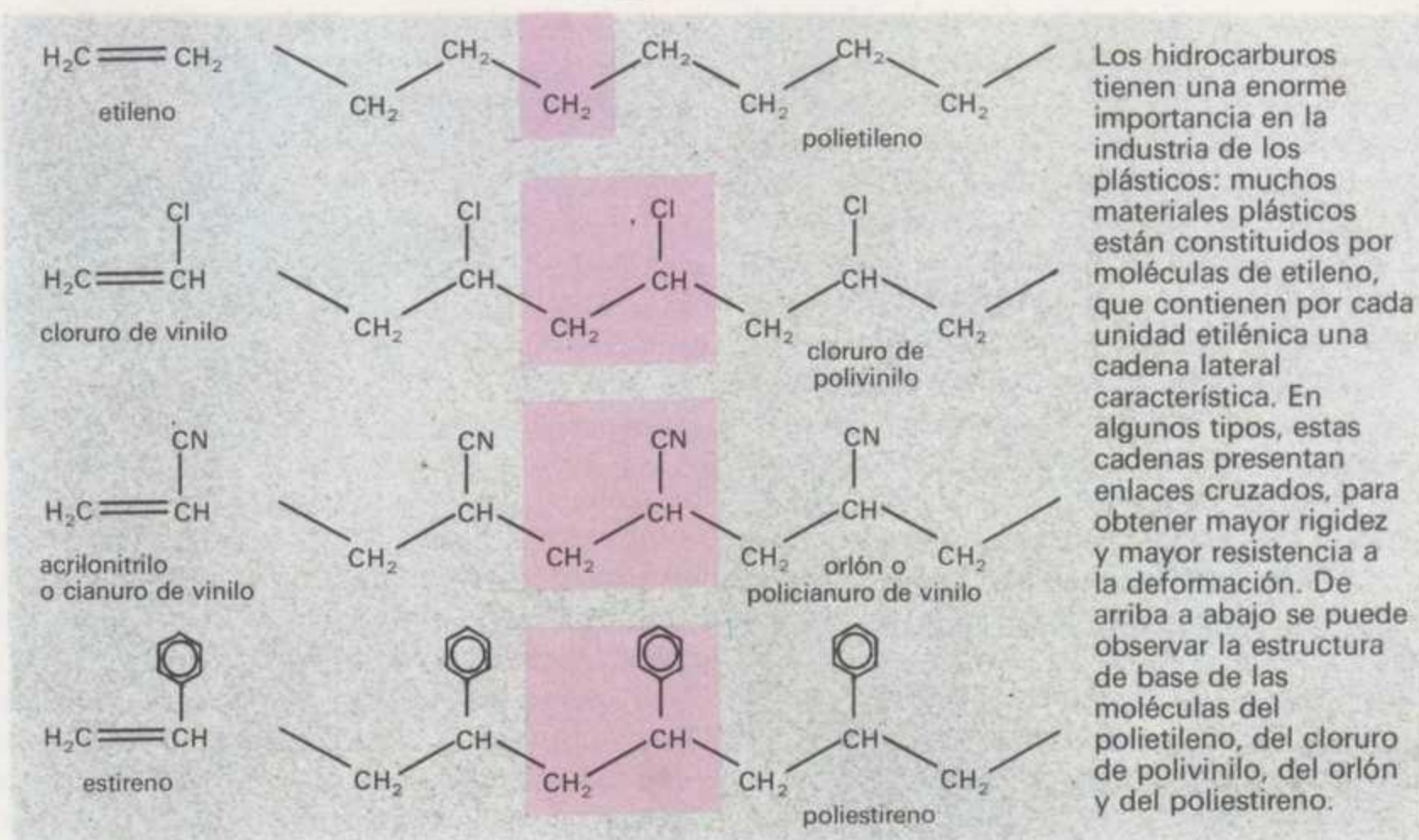
exclusivamente por átomos de carbono y de hidrógeno, pueden sustituir los átomos de hidrógeno por otras sustancias, dando

lugar a una infinidad de compuestos. La mayoría de los hidrocarburos deriva de los combustibles fósiles, es decir, del



($C_{10}H_{22}$). Ya que la naturaleza del enlace entre los átomos de carbono en los hidrocarburos es muy importante, pues afecta a las características de los compuestos, los hidrocarburos están clasificados según el tipo de este enlace. Un átomo de carbono puede formar a veces un enlace doble con otro átomo de carbono. Esto ocurre cuando los dos átomos de carbono ponen en común cada uno dos electrones. Los hidrocarburos que presentan la propiedad de tener dobles enlaces carbono-carbono se denominan *alquenos*. El *eteno* (C_2H_4), compuesto más sencillo de la serie, es un gas incoloro que tiene un olor dulzón. Otros elementos de la serie de los alquenos son el *propeno* (C_3H_6), el *buteno* (C_4H_8) y el *penteno* (C_5H_{10}).

Dos átomos de carbono en una molécula de hidrocarburo pueden formar tam-



→ petróleo y del carbón. El compuesto arquetipo de todos los hidrocarburos es el metano, formado por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno. En la tabla que ocupa estas dos páginas se ha ilustrado la clasificación general de los hidrocarburos: alifáticos, cíclicos y aromáticos, de entre los cuales se distinguen otras subcategorías de compuestos: alcanos, alquenos, alquinos, cicloalcanos, cicloalquenos, etc., con sus tipos correspondientes.

bién un enlace triple. Esto sucede cuando dos átomos de carbono ponen en común, cada uno de ellos, tres electrones. El *acetileno* o *etino* (C_2H_2) es la molécula más sencilla que presenta un triple enlace. El acetileno es incoloro, tiene un olor desagradable cuando no está purificado y resulta un poco tóxico. Suele ser utilizado como materia prima para la preparación de un gran número de compuestos orgánicos, como el alcohol etílico y las gomas sintéticas. Los compuestos de la serie del acetileno son conocidos químicamente como los *alquinos*; cada integrante de esta serie contiene uno o más enlaces triples carbono-carbono. Otros compuestos de esta serie son el *propino*, el *butino*, el *pentino* y el *hexino*.

Las tres series de hidrocarburos reseñadas pertenecen al grupo de los hidrocarburos alifáticos de cadena abierta. Existe otro grupo de hidrocarburos alifáticos de cadena cerrada o cíclica con enlace sencillo o doble: los *cicloalcanos* y los *cicloalquenos*.

Otra serie importante es la de los hidrocarburos aromáticos o bencénicos. Estos hidrocarburos contienen uno o más anillos bencénicos. Los anillos bencénicos están formados por seis átomos de carbono unidos entre sí mediante un enlace muy peculiar, el *enlace bencénico*, cuya energía es superior al enlace sencillo e inferior al doble entre carbono-carbono. El apelativo de "aromáticos" se debe a su olor más o menos agradable. No obstante, el carácter aromático tiene aquí un sentido específico, distinto en la química del carbono al que sugiere el término *aroma*. Representantes de esta serie son el *benceno* (C_6H_6), el *tolueno* (C_7H_8), el *xileno* (C_8H_{10}), el *naftaleno* ($C_{10}H_8$) y el *antraceno* ($C_{14}H_{10}$). Estos dos últimos están formados respectivamente por la condensación de dos y tres anillos bencénicos.

Aplicaciones de los hidrocarburos

Numerosos productos constituidos por hidrocarburos, tales como la gasolina y los aceites combustibles, son vendidos directamente a los consumidores. En términos de volumen de ventas, éstos son los hidrocarburos más importantes. Sin embargo, existen muchos otros que raramente son vendidos directamente a los consumidores, porque son utilizados en la industria como materia prima para elaborar importantes productos químicos, como son la goma sintética, los medicamentos, los colorantes, los disolventes de pintura, los tintes y las fibras sintéticas (el nailon y la fibra de poliéster, con más de 10.000 tipos diversos de compuestos químicos).

Véase Anillo bencénico; Asfalto; Carbón; Carbono; Cloruro de polivinilo; Etileno y polietileno; Gas natural; Gases licuados del petróleo; Gasolina; Hidrocarburos sintéticos; Petróleo; Petroquímica

Hidrocarburos sintéticos

Durante la Segunda Guerra Mundial, cuando los aliados bloquearon el avance de los nazis hacia los valiosos yacimientos petrolíferos de la Unión Soviética y del Oriente Medio, los científicos alemanes desarrollaron la gasolina sintética —obteniéndola del carbón— para superar de este modo las dificultades estratégicas por falta de combustible.

Como consecuencia de las periódicas amenazas de guerra y subversiones políticas a que se ven sometidas las reservas petrolíferas mundiales, sobre todo en Oriente Medio, se han concentrado numerosos esfuerzos con el fin de desarrollar una vasta gama de combustibles sintéticos. Es más, una vez que disminuyan las reservas mundiales de petróleo, será absolutamente necesario investigar y buscar nuevas fuentes alternativas.

Los sustitutos del petróleo son usualmente denominados *combustibles sintéticos*, término que suele abarcar una gran variedad de compuestos. Por lo general, cuando se habla de combustibles sintéticos se está haciendo referencia a cualquier tipo de combustible que no proceda de productos petrolíferos líquidos, y en especial a cualquier combustible que no sea gasolina obtenida del petróleo bruto.

Combustibles sintéticos obtenidos del carbón Tanto el petróleo como el carbón son fuentes de hidrocarburos, sustancias químicas compuestas por átomos de hidrógeno y de carbono, y tienen unas características químicas muy similares. Sin

embargo, a pesar de su aspecto diferente, los químicos ya disponen de los medios para obtener del carbón casi todos los productos derivados del petróleo bruto. Los gases obtenidos del carbón pueden ser fácilmente utilizados como sustitutos del gas natural. Por otro lado, la gasolina derivada del carbón es idéntica a la que se obtiene del petróleo bruto. La única diferencia sustancial consiste en los costes. En efecto: resulta mucho más barato perforar un pozo, bombear y transportar el petróleo que excavar una mina de carbón, extraerlo, transportarlo y posteriormente transformarlo químicamente para obtener la gasolina sintética al final del proceso. Sin embargo, existe la posibilidad de disponer de gasolina a largo plazo, aunque ésta sea muy cara, debido a las enormes reservas mundiales de carbón que todavía existen.

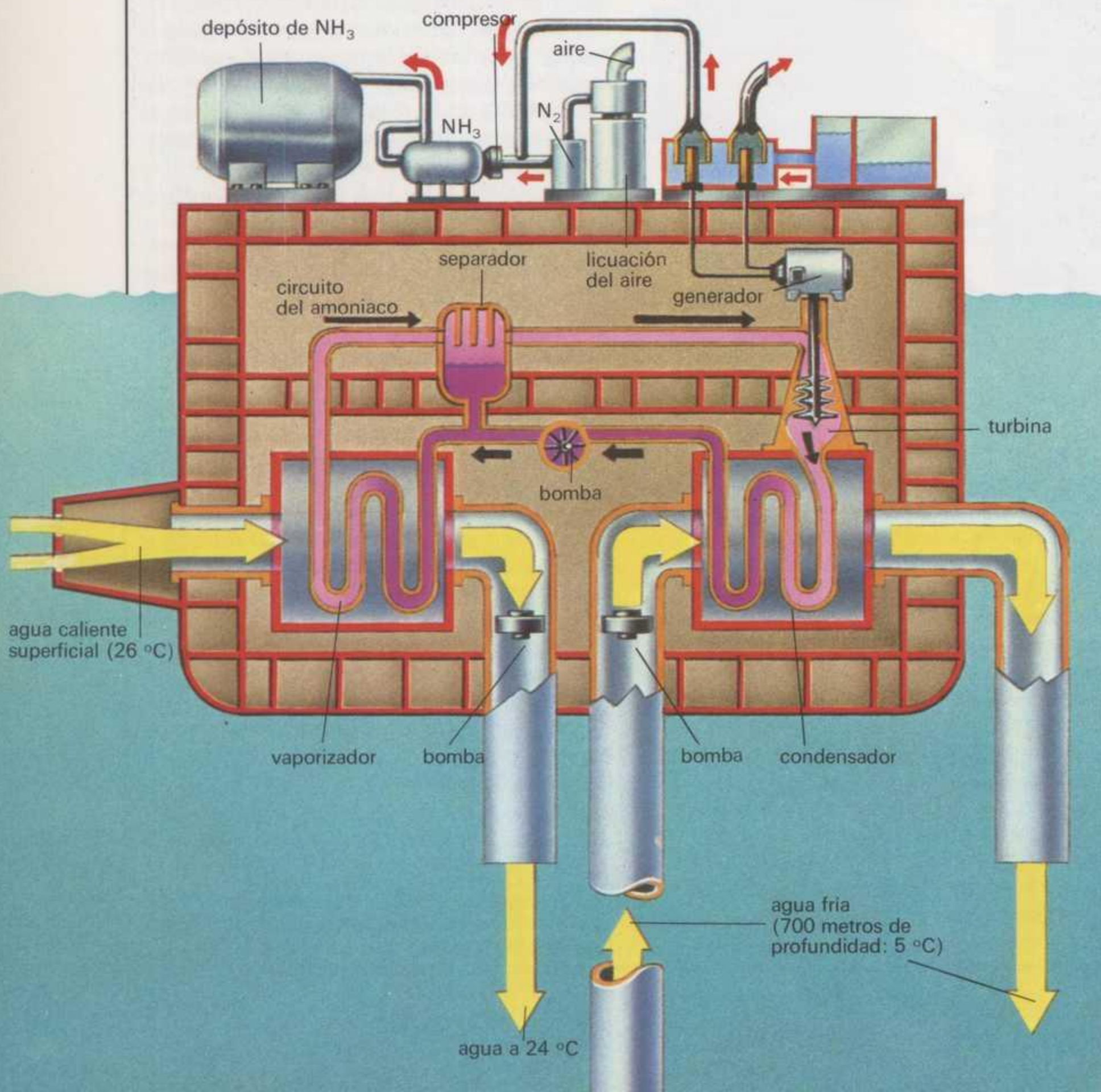
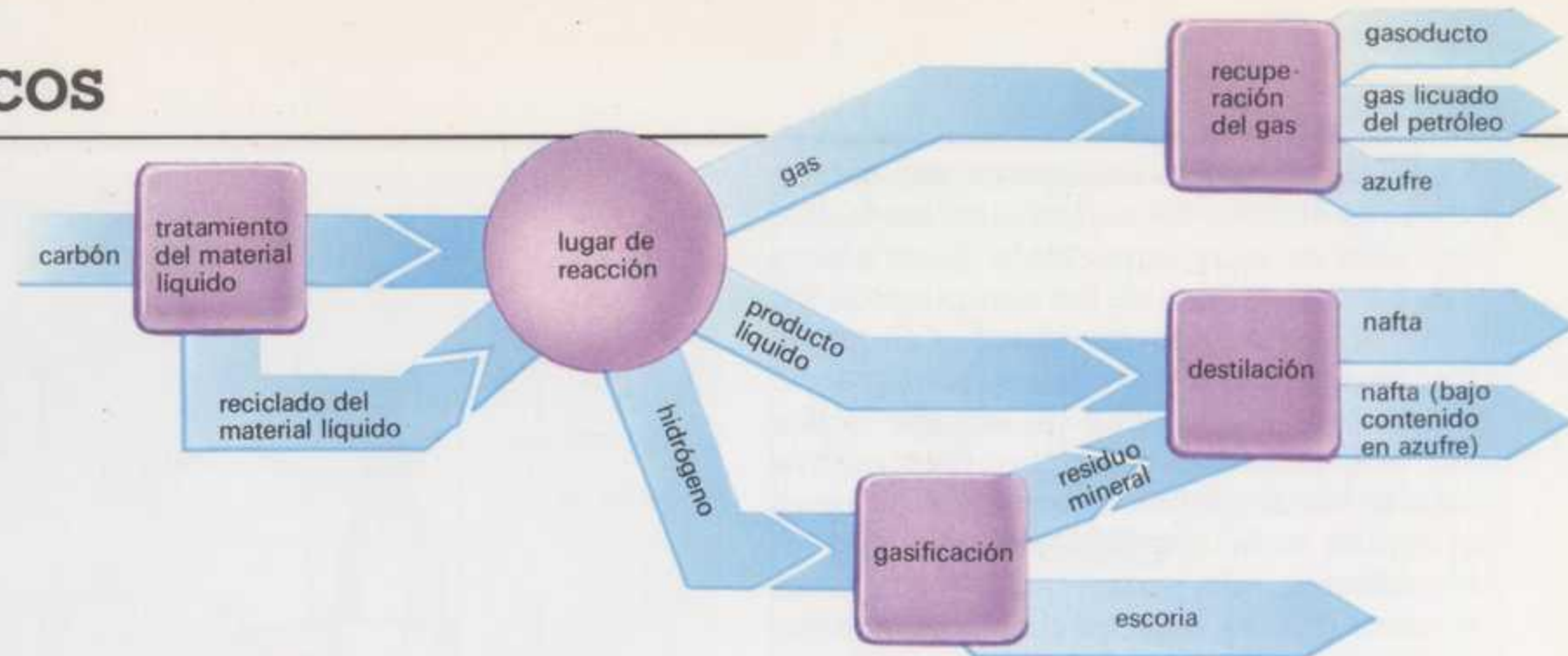
Alcohol Aunque en algunos países el precio de los licores sea bastante eleva-

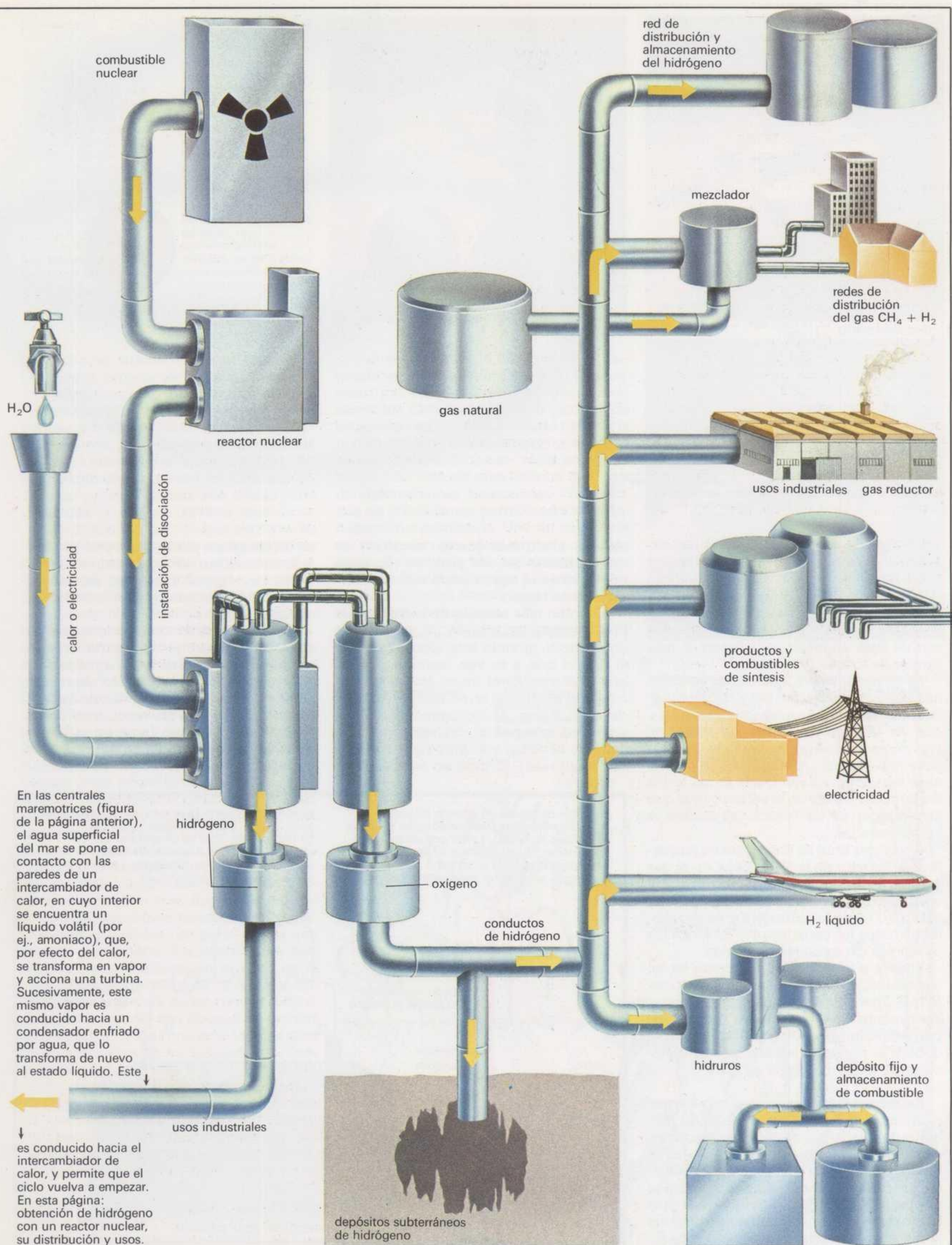
do, en realidad la producción del alcohol no es muy costosa. De hecho, el precio de un licor depende sobre todo de los procesos de destilación, envejecimiento, embotellamiento, de las actividades de promoción y de los impuestos. El gasógeno, por ejemplo, es una mezcla combustible formada por alcohol y gas, utilizada en muchos países. La mayor parte del gasógeno brasileño está compuesta por gasolina, en un 80%, y por alcohol, en un 20%. Brasil es el mayor productor mundial de alcohol etílico (que es un alcohol utilizado en la elaboración de los licores) obtenido a partir de la caña de azúcar. El alcohol puede ser utilizado directamente como combustible, aunque, debido a su peso, no da los buenos resultados proporcionados por la gasolina. El metanol, o alcohol metílico, puede obtenerse de los combustibles fósiles y de la madera.

Hidrógeno El hidrógeno puede ser considerado, desde numerosos puntos de vista, como el combustible ideal. En efecto: es prácticamente inagotable, ya que se puede obtener del agua de los mares y de los océanos, no es contaminante y cuando se quema produce únicamente agua. Sin embargo, existen muchos problemas para utilizar el hidrógeno como combustible. Esta sustancia debe ser transportada en contenedores de gruesas paredes de acero y tiene que ser manipulada con el debido cuidado por tratarse de un gas explosivo. Además, la energía obtenida del hidrógeno es siempre menor que la utilizada para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno. En consecuencia, debido a las dificultades existentes, el hidrógeno pasará a ser un combustible importante únicamente cuando se logre producirlo mediante la utilización de energía recuperable.

Otros combustibles sintéticos El aceite bruto sintético, el gas sintético, el alquitrán y las arcillas petrolíferas (o bituminosas) constituyen enormes reservas de un tipo de petróleo que en el futuro podrá solventar gran parte de las necesidades energéticas mundiales. Por último, dentro de esta búsqueda de fuentes alternativas, los materiales orgánicos de desecho producidos por la explotación agrícola pueden también ser tratados para obtener gas metano.

Véase **Alcohol; Biogás; Biomasa; Carbón; Energía, fuentes de; Hidrocarburos; Hidrógeno; Química orgánica**





En las centrales maremotrices (figura de la página anterior), el agua superficial del mar se pone en contacto con las paredes de un intercambiador de calor, en cuyo interior se encuentra un líquido volátil (por ej., amoníaco), que, por efecto del calor, se transforma en vapor y acciona una turbina. Sucesivamente, este mismo vapor es conducido hacia un condensador enfriado por agua, que lo transforma de nuevo al estado líquido. Este

es conducido hacia el intercambiador de calor, y permite que el ciclo vuelva a empezar. En esta página: obtención de hidrógeno con un reactor nuclear, su distribución y usos.

Hidrógeno

NOMBRE	HIDROGENO
SIMBOLO	H
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego ὕδωρ, "agua", y γεννάω, "generar"
N. ATOMICO	1
PESO ATOMICO	1,00797
ABUNDANCIA NATURAL EN LA CORTEZA TERRESTRE	0,87% en peso
ESTADO NATURAL	en estado libre, se encuentra en los gases volcánicos y de fermentación; en estado combinado, en el agua, en el carbón fósil y en las sustancias orgánicas
DESCUBRIMIENTO	H. Cavendish. (1766)
PRODUCCION	del carbón con vapor de agua o de los hidrocarburos mediante vapor
P. eb. (°C)	-252,77
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	0,08987
PROPIEDADES Y APLICACIONES	gas muy ligero; utilizado para la síntesis del amoníaco, como agente reductor y para el corte y soldadura de metales (soplete oxhídrico)

El hidrógeno se presenta en el Universo en cantidades superiores a las de cualquier otro elemento. Cerca de las tres cuartas partes del Universo están constituidas por hidrógeno. Se estima que más del 90% de todos los átomos existentes son de este elemento, el primero y más simple de todos.

Es el combustible que en las reacciones termonucleares del Sol y de las estrellas libera enormes cantidades de energía, que se difunde en forma de radiación electromagnética por el espacio. Por tratarse del elemento más simple (protio), de él se han originado en cierta forma todos los demás, a través de diversos ciclos que tienen lugar en las reacciones nucleares de las estrellas.

Como gas libre se encuentra en pequeñas cantidades en la Naturaleza: en el gas natural, en las emanaciones volcánicas y en el petróleo. Combinado constituye algo más del 11% de la hidrosfera y se encuentra en todos los seres vivos y en todos los productos de naturaleza orgánica.

Puro y a temperatura ambiente es un gas diatómico incoloro, inodoro, insípido, el más ligero de todos los gases, y extremadamente difusible a través de paredes porosas, como la porcelana sin esmalte, debido al pequeño tamaño de sus moléculas. Su masa molecular es 2,016.

Estructura atómica Una representación muy familiar del átomo es la de Rutherford, consistente en un sistema solar en miniatura. El centro de ese sistema es el núcleo atómico, de volumen muy reducido en relación al del átomo, constituido por protones (carga positiva) y neutrones (sin carga). En torno al núcleo se dispone la corteza electrónica o espacio donde gi-

ran los electrones (carga negativa) en igual número que los protones. En estas condiciones el átomo es un sistema eléctricamente neutro.

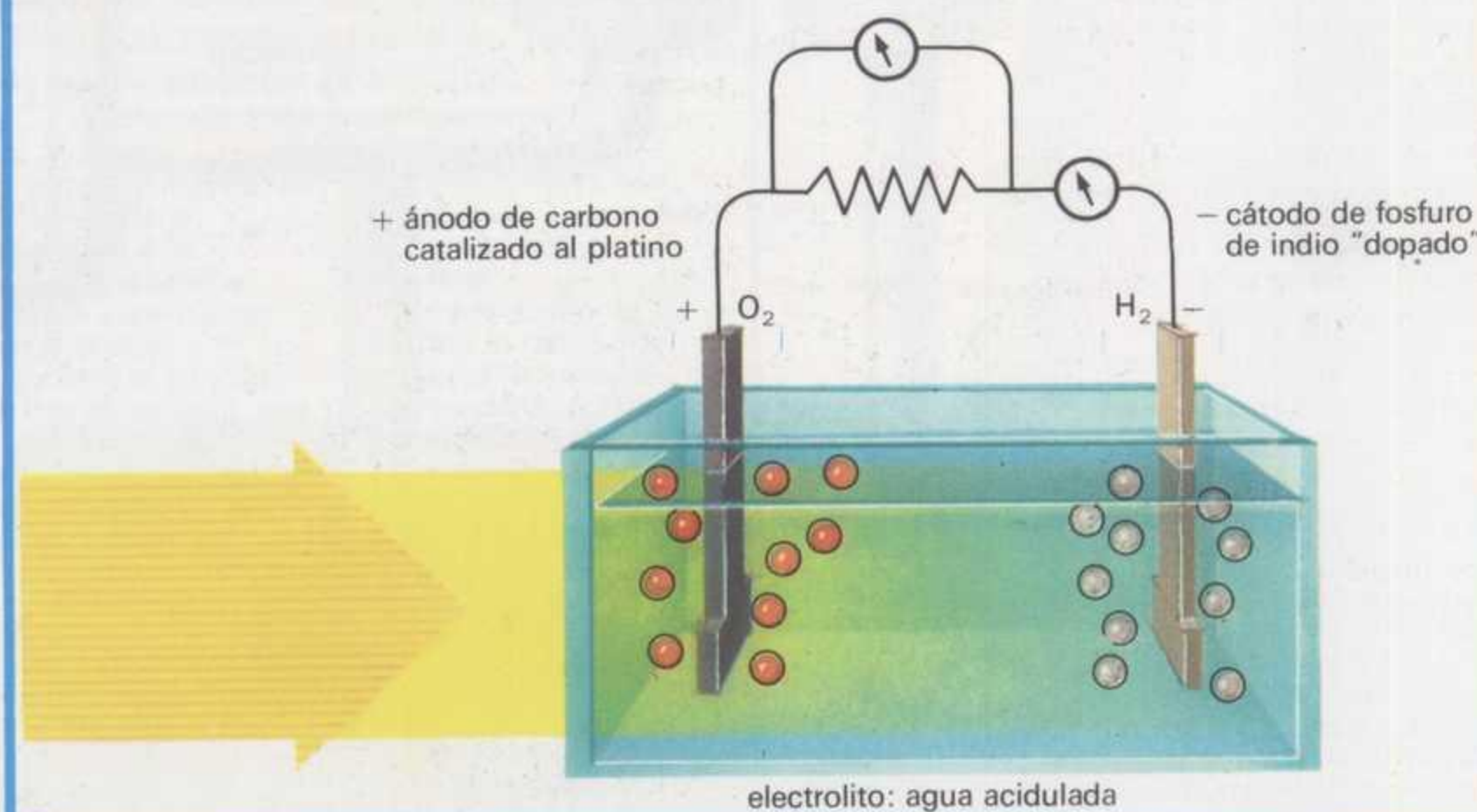
El átomo más sencillo de hidrógeno, el protio, consta tan sólo de un protón y de un electrón, girando este último en torno al protón que, a su vez, también gira sobre sí mismo. Es el único átomo que no contiene neutrones en su núcleo. Además de este átomo, el hidrógeno consta de otros dos isótopos: el *deuterio* (que contiene un neutrón) y el *tritio* (que contiene dos neutrones). El tritio no se encuentra

en la Naturaleza por ser inestable y el deuterio se halla tan sólo en la proporción del 0,02%. Es decir, el hidrógeno está constituido principalmente por el isótopo más sencillo, el protio.

Como el deuterio es más pesado que el protio, el agua en cuya composición entra el deuterio se denomina *agua pesada*, y se emplea como moderador de neutrones en los reactores nucleares de fisión. El tritio interviene en las reacciones termonucleares que tienen lugar en la bomba de hidrógeno. También se utiliza en pinturas luminosas.

Esquema de células de energía solar para la fotólisis del agua (descomposición del agua por acción de la luz). La luz golpea el ánodo fotosensible en la célula electrolítica, donde descompone el agua en oxígeno (que se descarga y se dirige al ánodo como gas) y

en iones hidrógeno (que a su vez se descargan en el cátodo, comportándose como gas). La fotólisis del agua es un proceso aún en estudio experimental que en un futuro permitirá disponer de hidrógeno a bajo costo como fuente de energía limpia.



Actividad química La actividad química del hidrógeno, como en otros elementos, tiene su justificación en la estructura electrónica. Por poseer un solo electrón en su única y última capa puede cederlo con cierta facilidad a elementos más electronegativos, como el flúor, cloro, bromo, oxígeno, azufre, nitrógeno y carbono, originando *hidruros volátiles*. Al ceder o compartir el electrón, adopta estructura electrónica de menor energía y por lo mismo más estable. También es capaz de tomar un electrón de elementos más electropositivos, de carácter metálico acusado, como los alcalinos y alcalino-térreos, originando *hidruros metálicos*. Aquí se forma un enlace iónico y el hidrógeno adopta una estructura electrónica estable (la del gas noble helio).

El hidrógeno se encuentra en todos los compuestos de la Química orgánica, entre los que pueden destacarse los hidrocarburos, glúcidos, aminoácidos, proteínas, lípidos y polímeros naturales y artificiales. Con algunos elementos no-metálicos forma ácidos de capital importancia en la industria química y farmacéutica.

Aplicaciones del hidrógeno Las principales aplicaciones del hidrógeno se derivan de dos de sus propiedades características: su baja densidad y su gran reactividad química.

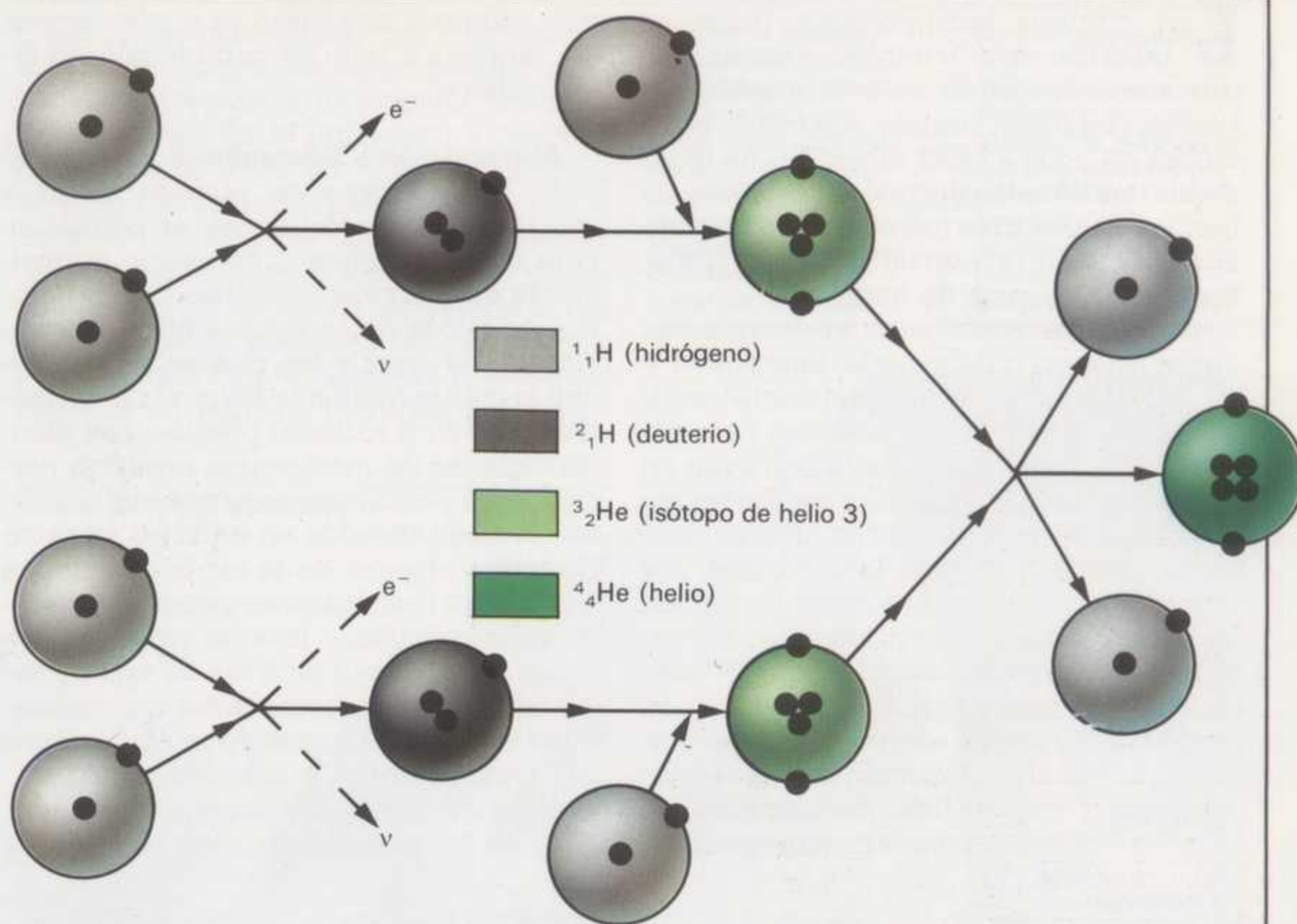
Es 14,4 veces menos denso que el aire: de ahí su empleo en el siglo XIX y primeros años del actual en globos y dirigibles. Sin embargo, por ser altamente combustible se originaron diversas catástrofes, como el incendio y total destrucción del dirigible *Hindenburg* en 1937 en New Jersey (EE UU). Posteriormente se ha utilizado el helio, pese a que su densidad es doble que la del hidrógeno, porque es un gas no inflamable.

El hidrógeno arde con llama muy viva y calorífica en el aire y mejor en atmósfera de oxígeno. De ahí su aplicación en los sopletes oxhídricos con hidrógeno molecular o atómico. También se emplea como combustible, solo o acompañado de metano (gas natural).

La reacción hidrógeno-oxígeno se utiliza modernamente —en la *pila de combustible* de estos dos gases— para producir electricidad.

La energía que se libera en el Sol, como se ha dicho, proviene de una *reacción termonuclear* por la que el hidrógeno se convierte en helio. Reacciones de este tipo con diversos isótopos de hidrógeno se llevan a cabo en la llamada *bomba termonuclear* o *de hidrógeno*. El control de este proceso para producir energía con fines no bélicos se ha realizado ya, si bien a escala de laboratorio. Es posible que en breve se logre producir energía por este procedimiento y con un coste inferior al que representa la energía actual.

Véase **Ácidos y bases; Agua; Agua pesada; Átomo; Elementos químicos; Electrolisis; Enlace químico y valencia; Fusión nuclear; Iones; Isótopos; pH, acidez y basicidad**



En la página anterior, la molécula diatómica del hidrógeno, que es la forma normal del elemento en estado libre a temperatura ambiente. Los dos electrones son compartidos por los dos átomos de hidrógeno, girando en un orbital molecular común a ambos protones. Se forma un enlace covalente muy estable. El hidrógeno molecular existe en forma *orto* y *para*, según que el sentido de rotación de los protones sea el mismo u opuesto (*espines* paralelos u opuestos). En esta página, arriba (sobre estas líneas), el ciclo protón-protón de la fusión nuclear en el Sol y en las otras estrellas. Los núcleos de los dos átomos de hidrógeno se fusionan también, con emisión de energía y radiaciones, formando deuterio que después se fusiona también con otro átomo de hidrógeno para formar el isótopo helio 3. Dos de estos núcleos se fusionan entre sí formando un átomo de helio 4 y liberando dos átomos de hidrógeno que vuelven a entrar en el ciclo.

APLICACIONES INDUSTRIALES DEL HIDROGENO

Hidrogenación catalítica

- Síntesis del amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno
- Síntesis del alcohol metílico a partir de óxido de carbono e hidrógeno
- Síntesis de los carburantes líquidos
- Endurecimiento de los aceites vegetales
- Preparación de alcoholes superiores a partir de los ácidos grasos correspondientes
- Preparación del ciclohexano a partir del benceno, y del ciclohexanol a partir del fenol
- Preparación de la hexametildiamina a partir del adiponitrilo para la síntesis del nailon.
- Preparación de productos para la industria farmacéutica

Como combustible en

- Llama oxhídrica para las soldaduras
- Llama de hidrógeno atómico a alta temperatura para cortar y soldar los metales
- Pilas de combustible
- Propulsores en los motores de los cohetes

En metalurgia

- Pantalla reductora en los tratamientos de alta temperatura de los metales
- Como reductor en los óxidos de tungsteno y molibdeno y otros minerales
- Preparación de los hidruros metálicos

Hidropónicos, cultivos

Los cultivos hidropónicos, llamados también *hidrocultivos*, constituyen una nueva forma de cultivar muchas especies vegetales, usando solamente soluciones de agua y sales minerales en lugar de los métodos tradicionales de cultivo en tierra orgánica. Este método se utiliza para la producción comercial de flores, frutas, hortalizas y plantas de interior.

Las plantas se colocan en recipientes llenos de agua o de material inorgánico, y se alimentan con agua "reciclable", enriquecida con sustancias nutritivas. Este sistema ha sido experimentado con éxito en Israel, Irak, Irán, en las islas caribeñas de Aruba y Curaçao, y en otros lugares donde el terreno y el agua son escasos, por lo que no es posible el desarrollo de una agricultura "normal". Dicho sistema fue utilizado por primera vez durante la II Guerra Mundial, para producir alimentos con destino a las tropas estadounidenses que se encontraban de guarnición en las islas de Guam y de Iwo Jima. Actualmente, en Estados Unidos, los tomates hidropónicos,

más sabrosos, empiezan ya a competir en los mercados con los producidos en invernaderos.

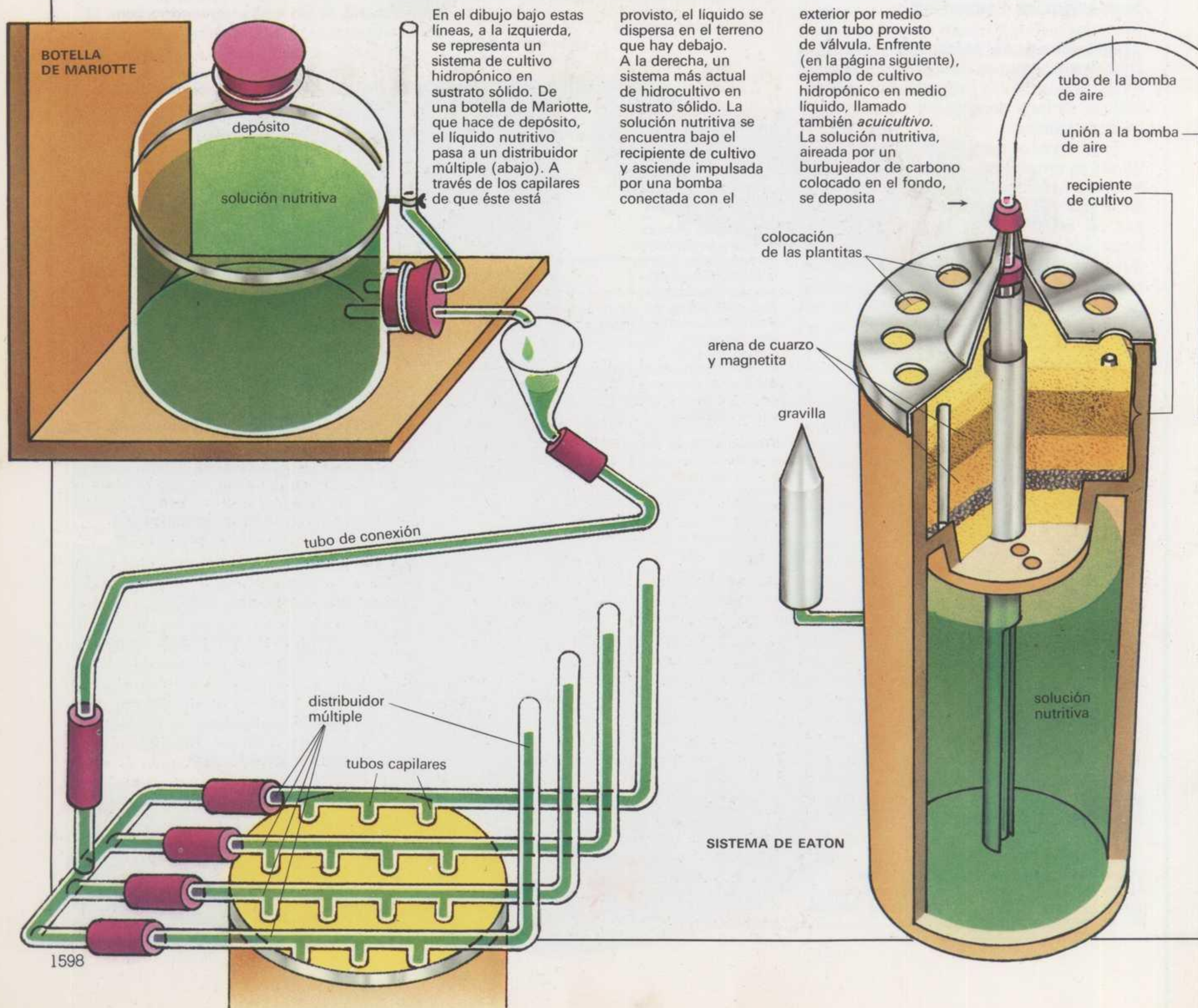
Alimentación e hidrocultivos Los cultivos hidropónicos se pueden llevar a cabo tanto al aire libre como en el interior. Para un mayor control, necesario normalmente en las investigaciones de laboratorio, las raíces están suspendidas en recipientes de agua y las plantas se mantienen erguidas mediante hilos, varas de madera, cartón o material plástico. Las plantas capaces de mantenerse erguidas parcialmente se colocan en arena o grava. En los jardines situados en edificios, para no aumentar el peso de la estructura de los mismos, se usan materias plásticas expandidas, vermiculita o lana de vidrio.

Las soluciones nutritivas de agua y sales minerales son bombeadas con regularidad en los recipientes. Al mismo tiempo, las bombas airean la solución, añadiendo dióxido de carbono y acelerando el proceso de fotosíntesis. En caso de escasez

de agua, ésta puede ser "reciclada". La solución nutritiva se filtra, a través de los sustratos de cultivo, en recipientes donde el contenido en nutrientes es analizado y enriquecido para ser de nuevo reintroducida en el ciclo.

Las plantas cultivadas por este procedimiento son muy sensibles por haber crecido en un ambiente protegido, hasta el punto de que un error ínfimo en el contenido de nutrientes puede provocar el fracaso de una cosecha entera.

Una vez recolectada la cosecha y extraídas las plantas, los sustratos de cultivo y los recipientes se esterilizan cuidadosamente a fin de impedir la difusión de enfermedades —en el caso de que el cultivo precedente hubiera estado atacado por alguna enfermedad— y para evitar la acumulación de toxinas que se produce cuando se repite el cultivo de una especie en el mismo lugar. Es obvio que en estas condiciones se hace totalmente innecesario practicar ningún tipo de rotación de cultivos.

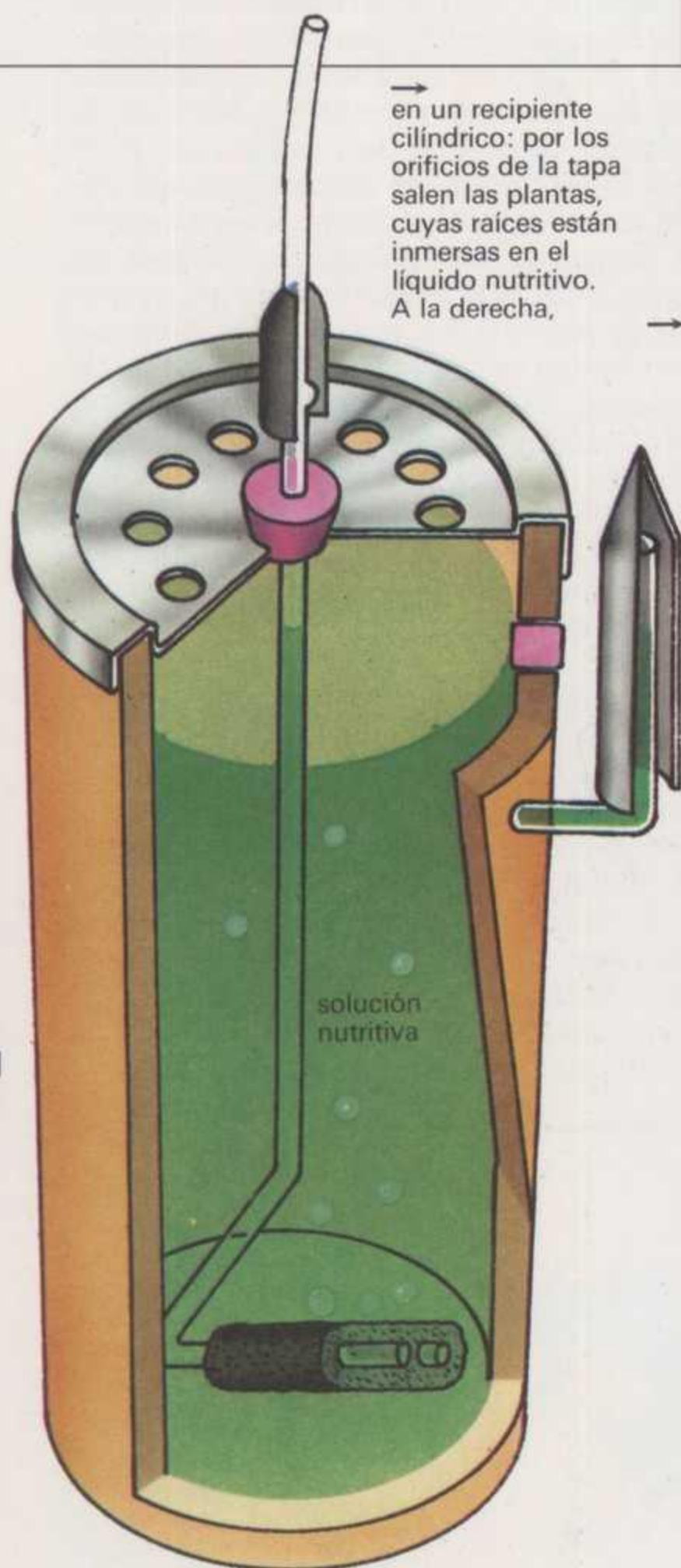


COMPOSICION QUIMICA DE UNA SOLUCION NUTRITIVA

Macroelementos			Microelementos		
nitrógeno	135	mg/l	hierro	0,5	mg/l
potasio	260	mg/l	manganeso	0,25	mg/l
fósforo	65	mg/l	cobre	0,02	mg/l
magnesio	50	mg/l	molibdeno	0,02	mg/l
azufre	445	mg/l	boro	0,25	mg/l
calcio	235	mg/l	cinc	0,25	mg/l

pH de la solución, aproximadamente 5,5

solución utilizada con óptimos resultados para cultivar maíz, tomates, judías, etcétera.



→ en un recipiente cilíndrico: por los orificios de la tapa salen las plantas, cuyas raíces están inmersas en el líquido nutritivo. A la derecha,



Tombesi Impianti Idroponici S.p.A. Roma



→ vista de un invernadero, con pepinos cultivados mediante sistemas hidropónicos sobre sustratos. Los recipientes "cama", bien alineados, son alimentados con soluciones de nutrientes procedentes del fondo por subirrigación. Las plantitas se sostienen gracias a cordeles tensos para que se produzca un crecimiento en vertical. A la izquierda, sistema de tuberías que conducen la solución nutritiva al terreno de cultivo.

Algunos agricultores que utilizan sólo productos orgánicos desaprovechan este método; en cambio, lo adoptan utilizando soluciones de estiércol, sangre seca y emulsiones de pescado, en vez de sustancias nutritivas sintéticas. Además, practican la rotación o bien limpian los sustratos de los cultivos, evitando así el empleo de sustancias esterilizantes tóxicas.

La nutrición de las plantas Los cultivos hidropónicos se realizaron por primera vez en 1800, con el fin de analizar y conocer las sustancias nutritivas necesarias para las plantas. Se conocían ya sus necesidades de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, elementos todos ellos presentes en el agua y en el aire. De la investigación con cultivos hidropónicos se dedujo que las plantas necesitan también fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio. Estas sustancias eran suministradas a los cultivos en forma de sales disueltas en agua destilada. Estudios ulteriores han demostrado la necesidad de pequeñas dosis de otros minerales: cinc, cobre, hierro, boro, molibdeno, cloro y manganeso.

Los estudios con cultivos hidropónicos continúan en la actualidad. El control de

todas las variables hace que éste sea un sistema ideal para examinar las reacciones de las plantas al ponerse en contacto con diversas sustancias, y también sus reacciones frente a variaciones de temperatura, aireación y nivel de acidez.

Actualmente se han invertido importantes sumas de capital en la investigación sobre un tipo de cultivo llamado *genipónico*: cultivos cuyo crecimiento se ha forzado mediante una atmósfera artificial (en la que se ha aumentado la proporción de dióxido de carbono) y largos períodos bajo luz artificial.

Los rendimientos de los cultivos hidropónicos son sorprendentes. Si no hay impedimento que lo obstaculice, dan una producción por metro cuadrado de dos a cuatro veces superior a la de los cultivos en tierra, debido a la alimentación forzada y a que en un ambiente cerrado están protegidos de las condiciones atmosféricas adversas, de la mayor parte de los insectos dañinos y de las enfermedades. Pero el rendimiento de los cultivos genipónicos es aún mayor, el doble del de los hidropónicos.

Véase **Acuicultura; Invernadero**

El que la mayor parte de las sustancias químicas empleadas para la esterilización sea totalmente tóxica —y por tanto muy peligrosa para los operarios y para el ambiente— y el alto nivel tecnológico necesario para completar con éxito todo el proceso hacen que este tipo de cultivos sea muy costoso. En efecto, se requiere un complicado sistema de recipientes, sustratos de cultivo y sujeciones, un laboratorio para el análisis de las soluciones nutritivas, técnicos especializados y un invernadero para instalaciones en ambiente cerrado.

Hierro

NOMBRE	HIERRO
SIMBOLO	Fe
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latin <i>ferrum</i>
N. ATOMICO	26
PESO ATOMICO	55,847
ESTADO NATURAL	está contenido en casi todas las rocas y en los minerales hematites, magnetita, limonita, siderita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	conocido en la Prehistoria
PRODUCCION	reducción de los minerales o acrisolado de la fundición
P. f. (°C)	1.535
P. eb. (°C)	3.000
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	7,85
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal dúctil y maleable que en aleación con el carbono y otros elementos da el acero; también es esencial para la vida animal y vegetal

El hierro (símbolo químico Fe) es un elemento de color gris plateado, número atómico 26 y peso atómico 55,847. Se presenta en la Naturaleza en forma de cuatro isótopos estables, es decir, que mientras que cada átomo de hierro tiene 26 electrones y 26 protones, puede tener un número distinto de neutrones. En la Naturaleza raramente se puede encontrar el hierro en estado puro, debido a su gran tendencia a combinarse con otros elementos. La mayor parte del hierro existe como óxido de hierro (hematites, Fe_2O_3 ; magnetita, Fe_3O_4), que es un compuesto de hierro y oxígeno; también es muy común en combinación con el azufre formando sulfuros (pirita, FeS_2), con el silicio (formando silicatos), en forma de carbonatos (siderita, FeCO_3), etcétera.

El hierro puro sólo se ha descubierto en los meteoritos y en Groenlandia (en la isla de Disko), en una zona donde los ba saltos atraviesan una formación de lignitos terciarios. En dicho yacimiento —el más importante del planeta— se han encontrado masas de hierro natural de hasta 20 tm. Después del aluminio, el hierro es el metal más común en la corteza terrestre, de la que constituye alrededor del 5%, y es, en términos absolutos, el cuarto elemento más común (después del oxígeno, el silicio y el aluminio).

En el cosmos, el hierro está en una proporción casi del 1% del total, lo que constituye un porcentaje considerable (del mismo orden que el del silicio y el carbono y sólo superado por el hidrógeno, el helio, el oxígeno y el nitrógeno).

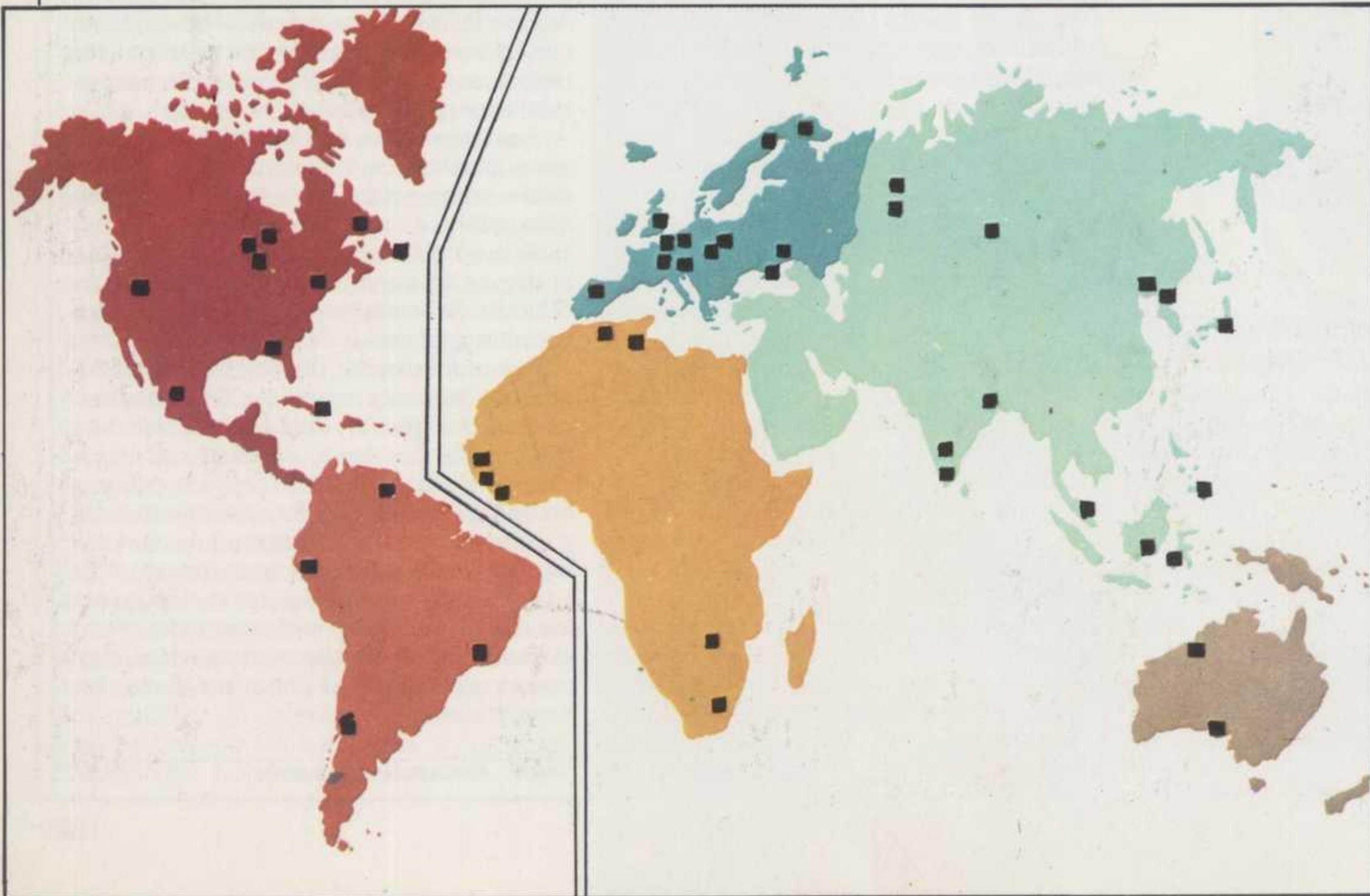
En general, el hierro es maleable (se puede reducir a hojas), tiene características magnéticas muy marcadas (ya sea en forma de poder de atracción, ya como capacidad para retener una carga magnética) y es muy dúctil (se puede reducir a hilos de diámetro extremadamente fino).

Hierro industrial Los tipos más importantes de hierro producidos industrialmente son, en efecto, aleaciones de hierro elemental. También existe un proceso que permite obtener hierro prácticamente puro a partir de los minerales, pero es prohibitivamente costoso y únicamente se utiliza para investigaciones científicas. La fundición bruta, que es la aleación de hierro más común, se produce en los hornos altos. Es una combinación de hierro (93%), carbono (del 3 al 5%) y otros elementos, y se utiliza fundamentalmente para producir acero, aleación más dura y más rígida que el hierro y que presenta una resistencia a la rotura por tracción muy elevada. La fundición común es una aleación de hierro que contiene del 2 al 4% de carbono y del

1 a 3% de silicio. En la industria, el hierro está siendo sustituido por el acero.

Producción de hierro El hierro constituye uno de los minerales más útiles y representa más del 80% del tonelaje metálico consumido por la industria mundial. De las reservas conocidas, sólo son económicamente explotables las cercanas a los grandes centros industriales y aquéllas que, a pesar de estar alejadas, pueden ser transportadas a bajo coste. Por esta razón no se explotan grandes reservas de alto contenido (Rep. Democrática del Congo, parte de las de Brasil y de la India), mientras en EE UU se aprovechan yacimientos de bajo contenido, pero bien comunicados con los centros consumidores. Dentro de las reservas mundiales destacan los grandes depósitos de América del Norte y la URSS. Según las últimas evaluaciones, las reservas conocidas podrían abastecer la demanda mundial, al ritmo actual, durante unos 600 años. Tres cuartas partes de la producción mundial de hierro se concentran en la URSS, EE UU y Europa Occidental. Recientemente se han puesto en explotación nuevos yacimientos localizados en Venezuela, Canadá, África Occidental, Australia, India y Brasil. Estados Unidos ocupa el primer puesto en el consumo mundial de mineral de hierro y el segundo en su producción, mientras que la URSS aparece como el primer productor de mineral de hierro y el segundo consumidor. Por su parte, Europa Occidental proporciona una cuarta parte de la producción mundial de hierro. Su mineral, con excepción del sueco, es de bajo contenido metálico.

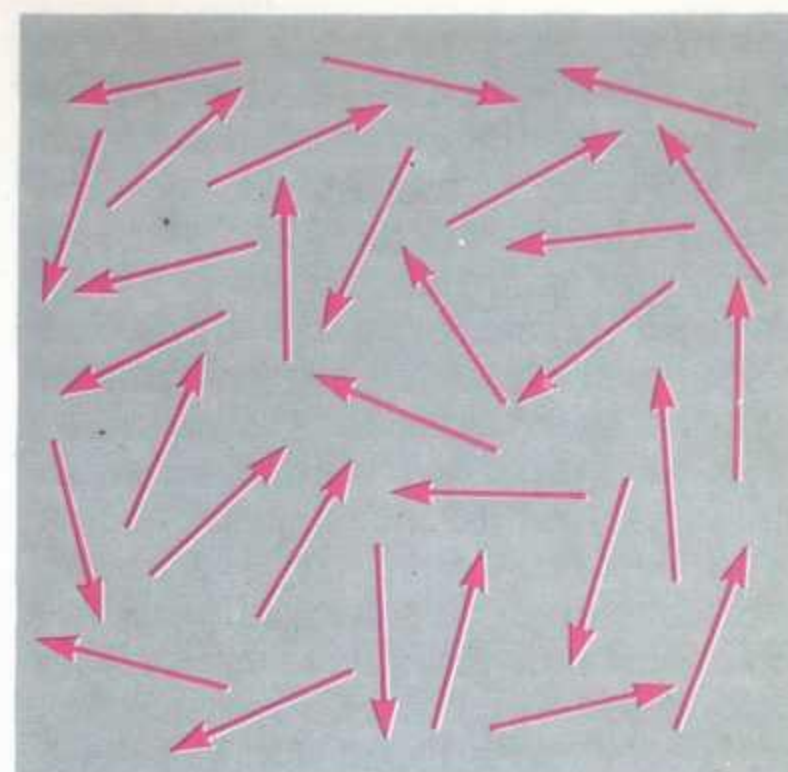
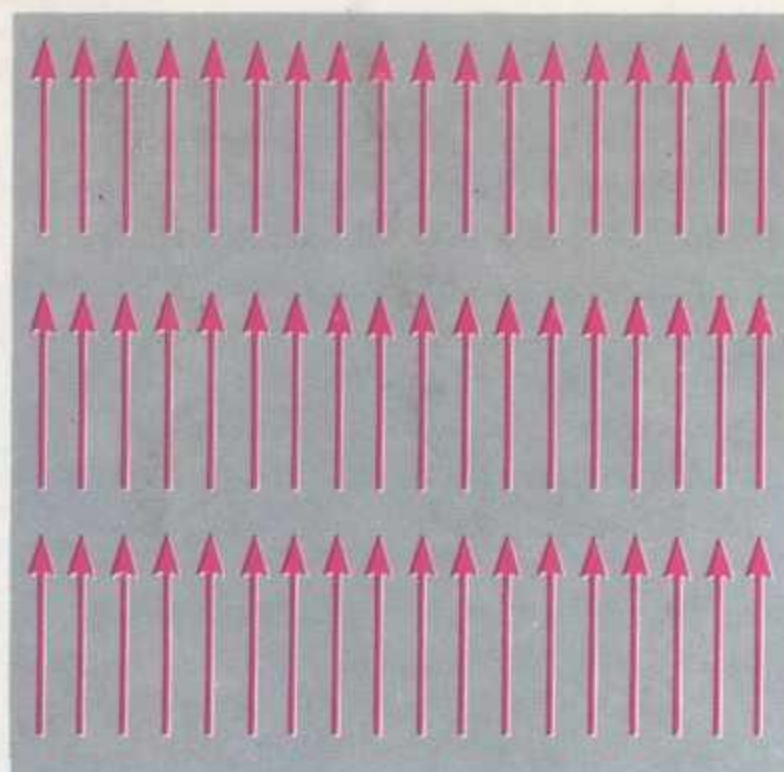
El comercio internacional del mineral de hierro es restringido, debido a la localización de las siderurgias cerca de las zonas productoras y al elevado costo relativo del transporte.



A la izquierda, yacimientos de hierro en el mundo. En Europa, la región de Lorena es muy rica en un tipo de limonita; el Ruhr, la alta Silesia, el norte de España, Rusia, Suecia e Inglaterra poseen yacimientos muy importantes. El mayor productor es la Unión Soviética, seguida de Estados Unidos. En Africa también se han descubierto recientemente grandes yacimientos. En la página siguiente puede apreciarse, en sendas imágenes de trozos de mineral, las formas en que se presenta el hierro: arriba, magnetita, un óxido salino magnético que constituye el imán natural; abajo, pirita (sulfuro férreo). En la foto de la derecha, horno alto; al fondo, los precalentadores de Cowper.

Hierro biológico El hierro es absorbido del suelo y del medio acuático por los vegetales. Estos lo incorporan a la biosfera, y a través de las cadenas alimentarias entra a formar parte del mundo animal. El hierro sólo es asequible a los vegetales en sus formas solubles o coloidales.

En el hombre y en los animales superiores el hierro que se ingiere en la alimentación está en estado férrico poco soluble, pero al llegar al estómago, el ácido clorhídrico lo reduce a ferroso, haciéndolo apto para su posterior absorción por el intestino delgado; a nivel de la mucosa de éste se forma ferritina, forma de depósito intestinal por medio de la cual el ion ferroso va liberándose a la circulación. En la sangre se oxida a férrico y se combina con una beta-globulina, dando lugar a la transferrina. De aquí pasa a los órganos de depósito (bazo, hígado, médula ósea), donde se acumula en forma de hemosiderina o



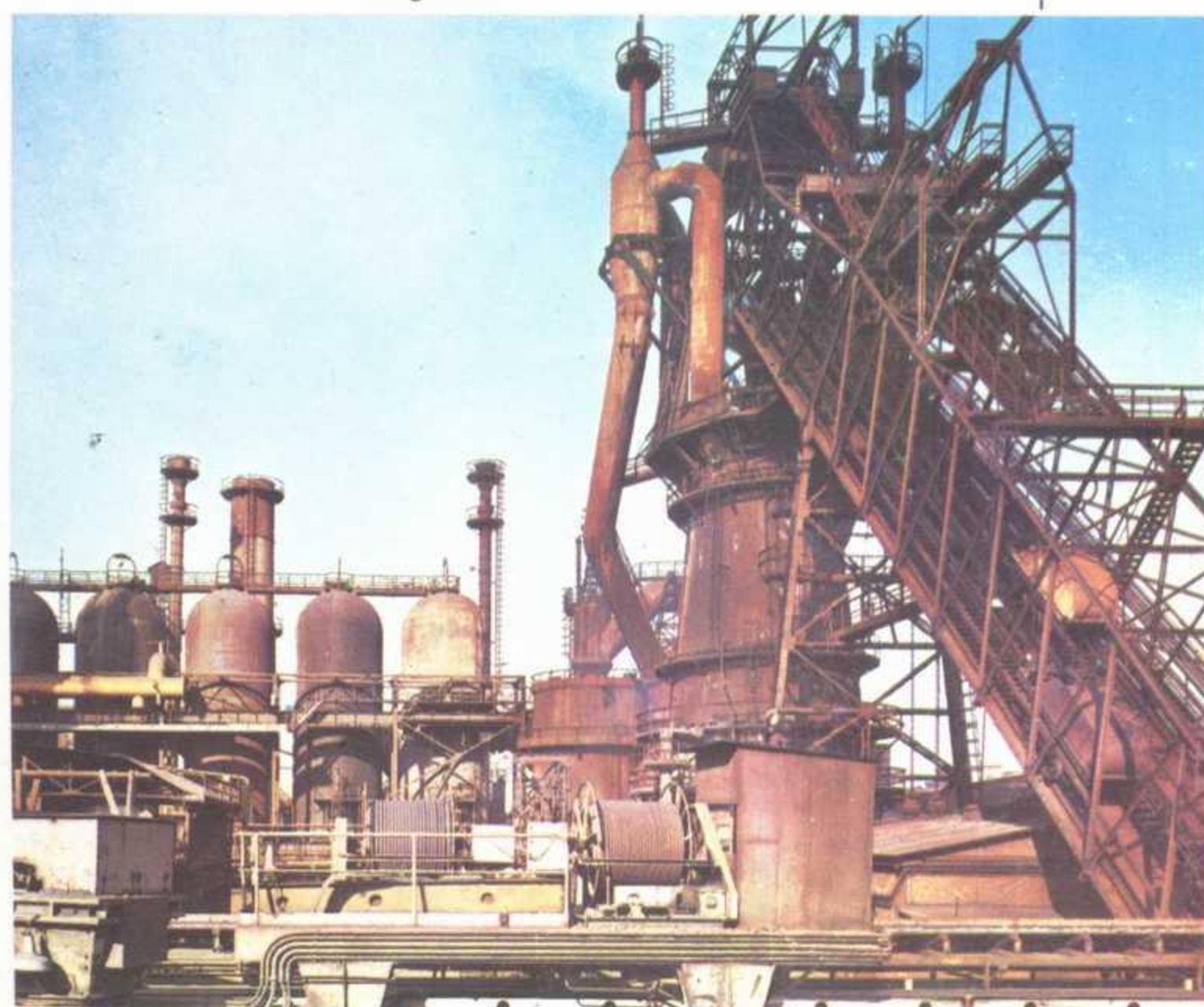
Se ha comprobado experimentalmente que los materiales ferromagnéticos están constituidos por microzonas, llamadas *dominios magnéticos*, que se comportan como imanes permanentes con su propio momento magnético. En los materiales ferromagnéticos no imantados o por encima de ciertas temperaturas, llamadas *temperaturas de Curie*, los dominios están en desorden. El proceso de imantación mediante un campo magnético exterior consiste en la orientación en un mismo sentido de cierto número de dominios. Si se eleva la temperatura del material imantado hasta pasar del punto de Curie, se desordenan los dominios como efecto de la agitación térmica y desaparece la imantación. Arriba, a la izquierda, orientación de todos los dominios de un material ferromagnético; a la derecha, dominios orientados en distinto sentido.



es utilizado directamente para la formación de la hemoglobina.

En efecto, el hierro es un componente primario de la hemoglobina, sustancia contenida en la sangre que fija y transporta el oxígeno a las células, con el fin de realizar los procesos de oxidación que suministran energía al organismo. El oxígeno se fija al átomo de hierro que lleva cada molécula de hemoglobina y se transforma en una molécula de oxihemoglobina. En Medicina, se emplea en el tratamiento de anemias agudas y crónicas, especialmente en las formas hipocrónicas por deficiencia, precisamente, de hierro.

Véase **Acero; Aleación; Alimentación y nutrición; Fundición y colada; Meteoritos; Sangre y grupos sanguíneos**



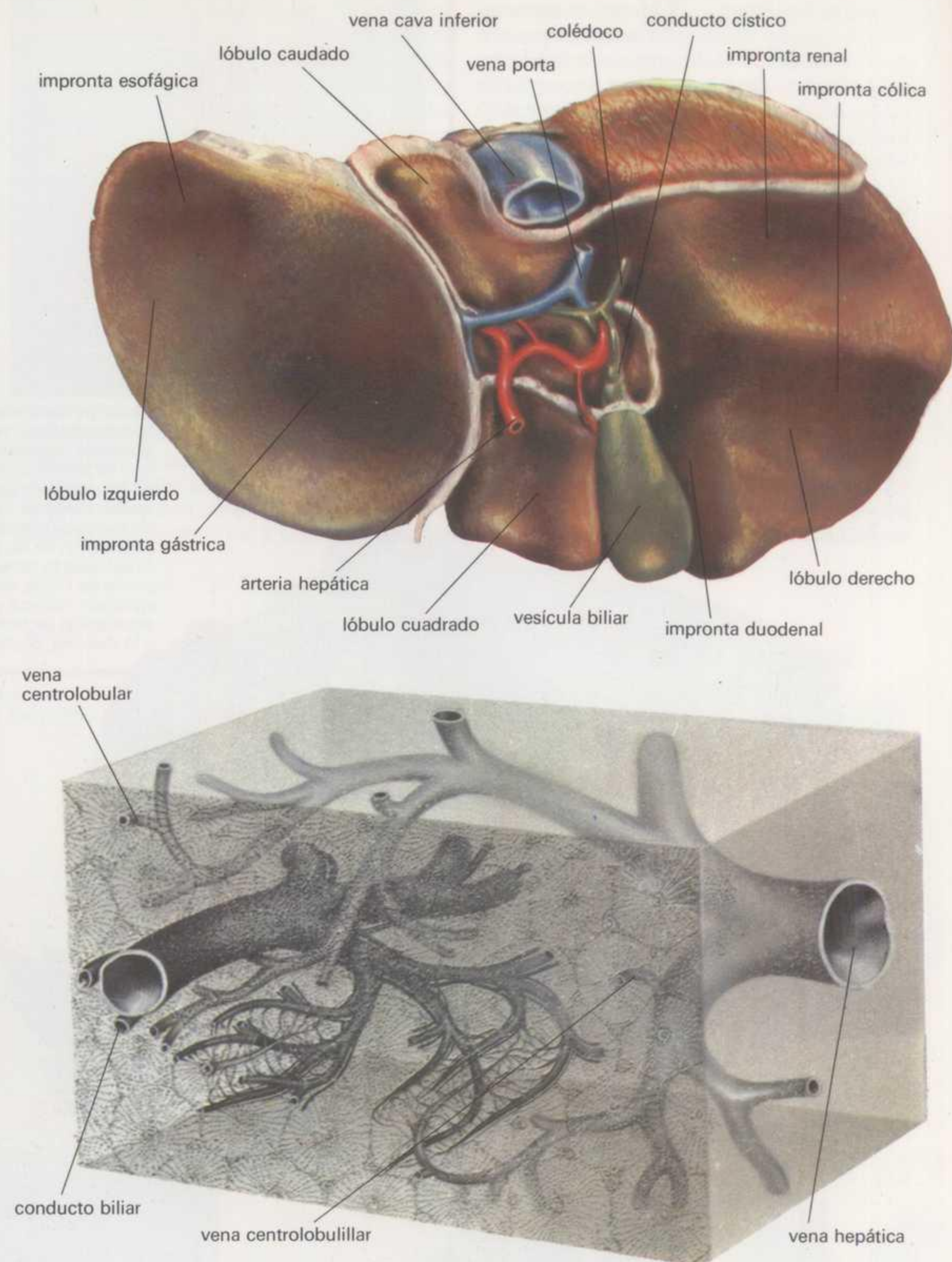
Hígado

El hígado funciona como una estación de transformaciones químicas en todos los vertebrados. Forma parte del aparato digestivo y es la glándula más voluminosa del cuerpo humano. La sangre entra en contacto con las células hepáticas y cede las sustancias nutritivas (que experimentan, posteriormente, importantes transformaciones químicas) así como las sustancias tóxicas absorbidas por el organismo (que, de este modo, se depura de las mismas).

Otra función del hígado es la de destruir los glóbulos rojos envejecidos, descomponiéndolos en hemoglobina y otros componentes, que después son reutilizados para la construcción de nuevos eritrocitos. Por otro lado, el hígado segrega la bilis, producto necesario para la digestión de las grasas.

En el hombre el hígado está situado debajo del diafragma, en la parte superior de la cavidad abdominal. La irrigación sanguínea del hígado tiene lugar por una doble vía: por un lado, la *vena porta* trae la sangre procedente del bazo y del intestino, rica en sustancias nutritivas absorbidas durante la digestión, mientras que, por otro lado, la *arteria hepática* aporta al hígado la sangre oxigenada necesaria para el metabolismo del órgano. El hígado aparece dividido aproximadamente en dos lóbulos (derecho e izquierdo), que a su vez están constituidos por minúsculos agregados celulares, denominados *lobulillos*. El número de lobulillos hepáticos es enorme, entre cincuenta mil y cien mil. Cada uno de ellos está formado por las *células hepáticas* que se organizan en cordones y se disponen en torno a una vena central, llamada *vena centrolobulillar*. Las pequeñas ramificaciones de la vena porta, denominadas *vénuclas*, desembocan en los *sinusoides*, es decir, los espacios comprendidos entre los distintos estratos de células hepáticas. Tras haberse difundido por todo el lobulillo, la sangre es recogida por la vena centrolobulillar y, desde aquí, se dirige hacia ramas cada vez más gruesas, hasta que sale del hígado por medio de la *vena suprahepática*. Entre los cordones de células hepáticas circulan también los *conductillos biliares*, a través de los cuales se segrega la bilis que se ha producido en las células. De modo similar a la sangre, la bilis es conducida a ramificaciones cada vez más gruesas hasta que alcanza el *conducto hepático*, situado en la cara inferior del hígado.

Procesos químicos La sangre venosa procedente del intestino es rica en lípidos, glúcidos, proteínas y vitaminas. Todas estas sustancias son posteriormente transformadas en el hígado. De los glúcidos, el hígado obtiene la glucosa, que es ulteriormente metabolizada o almacenada en forma de glucógeno (un polisacárido). El glucógeno se vuelve a convertir en glucosa y se libera a la sangre cuando el contenido de azúcar en el plasma es bajo. Muchas de las vitaminas absorbidas que llegan al hígado pueden ser almacenadas



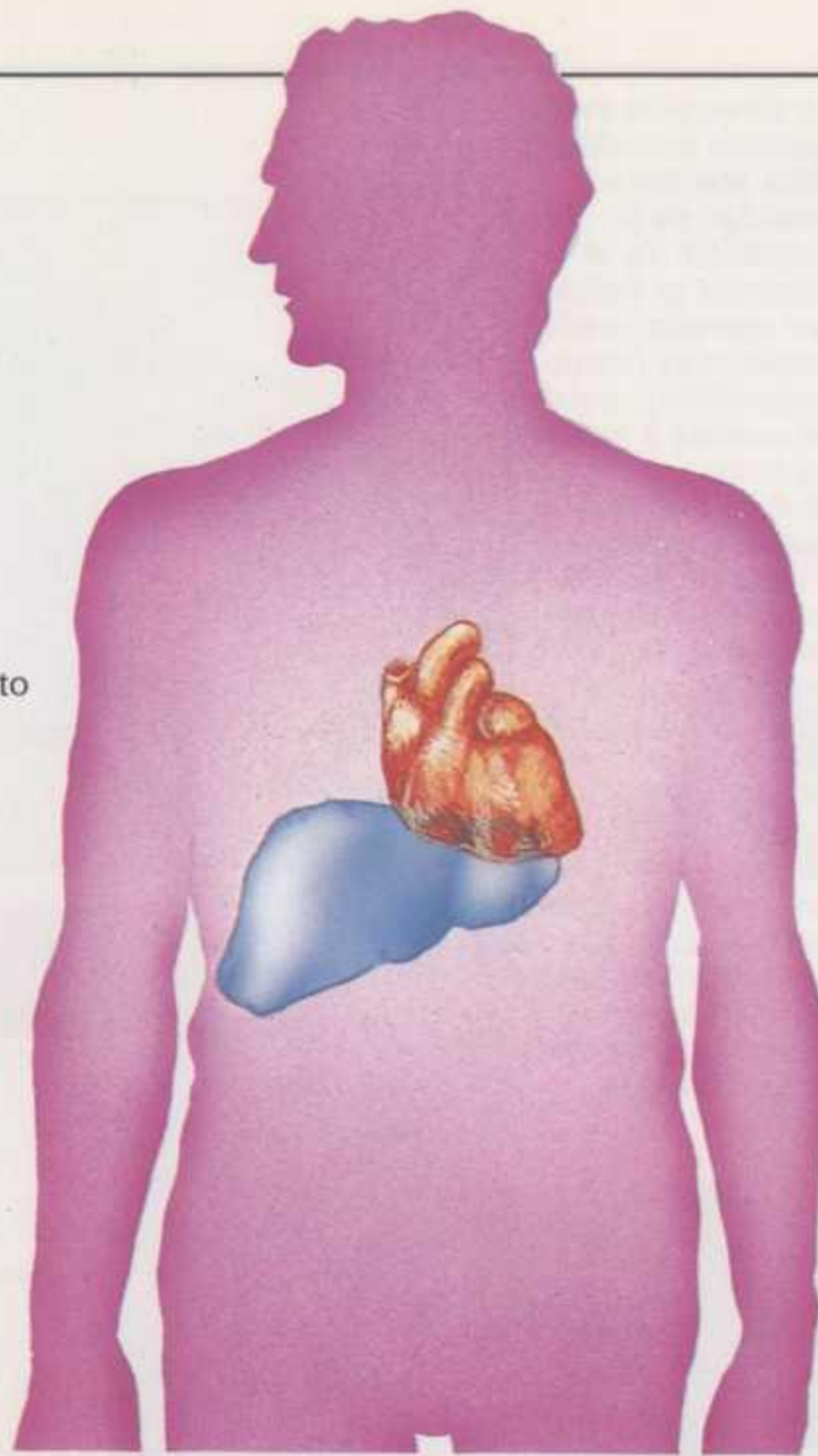
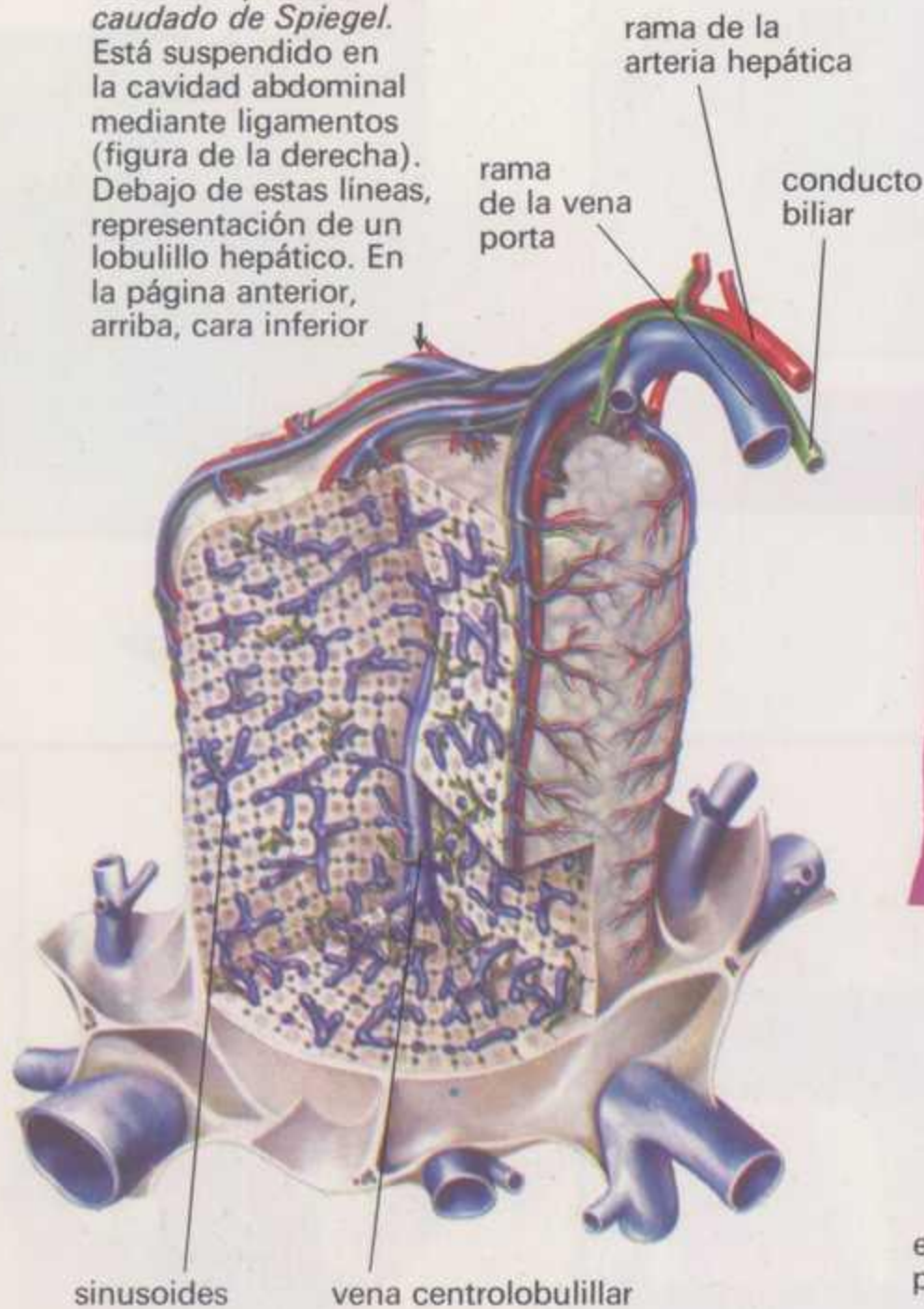
por éste durante largo tiempo. El hígado filtra las impurezas y destruye los materiales tóxicos transportados por la sangre. Las bacterias y los glóbulos rojos envejecidos son retirados de la circulación sanguínea gracias a la acción de unas células especiales que se encuentran en los sinusoides, denominadas *células de Kupffer*. Estas células fagocitan los mencionados productos de la misma manera en que una ameba ingiere su alimento. Los ácidos nucleicos procedentes de los núcleos de las células destruidas se convierten en ácido úrico y se eliminan a través de la orina. Los glóbulos rojos envejecidos son descompuestos en proteínas y en hemoglobina, una gran molécula proteica que se convierte en bilirrubina, el pigmento de la bilis. Las hormonas que provienen de la glándula tiroides, de las glándulas suprarrenales y de las glándulas sexuales son desactivadas químicamente en el hígado.

Por otra parte, el hígado actúa de órgano desintoxicante, degradando muchas sustancias nocivas de modo que puedan ser eliminadas: en cierta manera, el hígado combate los efectos dañinos producidos por el alcohol, el café, los barbitúricos, los aditivos, los insecticidas, etcétera.

La cirrosis puede producirse cuando el hígado se ve forzado a depurar cantidades importantes de alcohol, actividad que causa daños irreversibles a las células hepáticas.

Bilis Las células hepáticas segregan entre 400 y 1.000 gramos diarios de bilis, que se almacena en la *vesícula biliar*, situada bajo el hígado. La bilis está compuesta, principalmente, por agua y sustancias en disolución, como colesterol, ácidos grasos, sales biliares y bilirrubina (el pigmento biliar). Las sales biliares, derivadas del colesterol metabolizado en el hígado,

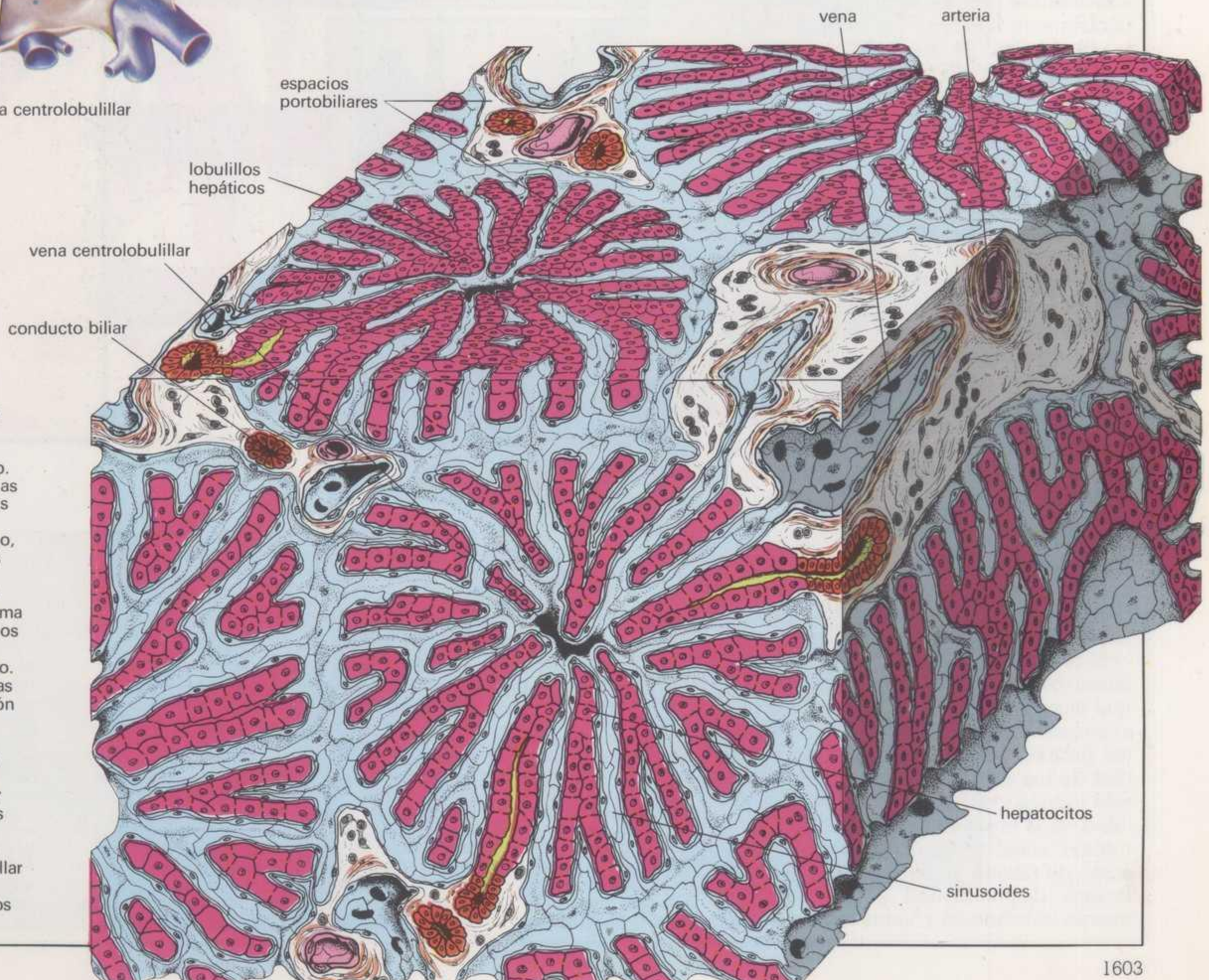
El hígado es un órgano de cerca de 1.500 gramos de peso, tiene forma ovoidal y está subdividido en lóbulos: lóbulo derecho, lóbulo izquierdo y los dos lóbulos centrales, denominados *lóbulo cuadrado* y *lóbulo caudado de Spiegel*. Está suspendido en la cavidad abdominal mediante ligamentos (figura de la derecha). Debajo de estas líneas, representación de un lobulillo hepático. En la página anterior, arriba, cara inferior



favorecen la digestión de las grasas cuando la bilis alcanza el intestino delgado. La bilirrubina, que da a la bilis su color amarillo verdoso, es un subproducto de la descomposición de la hemoglobina. Tanto el colesterol y la bilirrubina como fármacos y toxinas son excretados por la bilis. La inflamación del hígado, que origina la lesión y necrosis de una gran cantidad de células hepáticas, se denomina *hepatitis*. Existen multitud de causas de hepatitis, entre las que se encuentran la infección viral, el abuso prolongado del alcohol y la mononucleosis infecciosa. A pesar de que las células hepáticas pueden autosustituirse, cuando todos los lobulillos son destruidos se forma un tejido cicatricial, creándose una situación denominada *cirrosis*. Un síntoma que generalmente acompaña a la hepatitis es el hecho de que la excreción hepática de bilirrubina se ve impedida, con lo cual este pigmento se concentra en la sangre. El acúmulo de este pigmento en la sangre hace tomar a la piel y a la esclerótica (la parte blanca del globo ocular) un color amarillento, originándose una situación llamada *ictericia*.

Véase Alimentación y nutrición; Circulatorio, sistema; Digestión; Digestivo, aparato; Glucógeno; Hepatitis; Sangre; Vitaminas

↓ del hígado, dividida en cuatro lóbulos: derecho, izquierdo, caudado y cuadrado. El hígado presenta las improntas originadas por el colon, riñón, duodeno y estómago, debidas a que estos órganos entran en directa relación con aquél. Abajo, esquema de la estructura de los vasos en el parénquima hepático. A la derecha de estas líneas, reconstrucción tridimensional de la estructura de un hígado normal. Los lobulillos están individualizados por la disposición de las láminas celulares, convergentes hacia la vena centrolobulillar desde los espacios portobiliares situados alrededor.



Higiene

La ciencia de prevenir las enfermedades y de mantener el bienestar físico y mental, llamada *higiene*, es una disciplina con un vasto campo de acción. Si bien generalmente es considerada bajo dos aspectos separados —higiene personal e higiene pública—, tal separación es errónea, ya que los medios para mantener un estado de salud tienen siempre un aspecto individual y otro social. El poder disfrutar de una cantidad adecuada y sana de alimento, agua, vestidos, trabajo, ejercicio físico y sueño comprende tanto al individuo como a la sociedad. El aseo personal depende de la voluntad del individuo de mantenerse en buenas condiciones higiénicas, pero también de una adecuada información sobre la importancia de la limpieza personal en la prevención de las enfermedades.

El consumo de tabaco, alcohol o estupefacientes depende tanto de decisiones individuales como de hábitos sociales. Además, en el ámbito de la sociedad consumista actual —dedicada a la producción de bienes de consumo y al estímulo incesante de nuevas necesidades y deseos de placer— puede parecer inadecuada y moralista la insistencia que los programas educativos sobre la salud promovidos a comienzos del siglo ponían sobre el control de la actividad sexual y de los vicios en general. El control de las condiciones atmosféricas (por ejemplo, el provocar artificialmente la lluvia), las instalaciones y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado, la reglamentación sobre la calidad de las edificaciones dedicadas a vivienda, etc. son problemas de naturaleza tanto individual como política.

Definiciones Si bien la definición de salud y de enfermedad física y mental es considerada a menudo como una cuestión puramente científica, ésta varía según la cultura, el momento histórico y la clase social de que se trate. Por ejemplo, algunos ascetas (personas que practicaban formas rigurosas de penitencia para la obtención de una autodisciplina) condenaban las prácticas higiénicas y rechazaban lavarse, aceptando e incluso valorando el dolor físico causado por las enfermedades y las infecciones. Cada definición particular de salud o de enfermedad comprende también un juicio sobre el hecho de que un específico estado físico o mental sea justo o equivocado. Es sobre todo problemático el concepto de salud y enfermedad en relación a estados mentales no relacionados con disfunciones físicas.

Si bien es difícil definir la higiene sobre bases objetivas, es posible describir lo que significa hoy en las sociedades más avanzadas. Se trata de afrontar los siguientes problemas: aprovisionamiento y calidad de los alimentos; sistemas de provisión hídrica y depuración de las aguas; calidad de la indumentaria; seguridad en el trabajo; nivel de limpieza personal; consumo de tabaco, alcohol, tranquilizantes y drogas; disponibilidad y tipo de alojamiento, calefacción y ventilación del mis-

La dimensión de las medidas preventivas debe abarcar a la totalidad de la población. En el esquema se indican, por ejemplo, medidas preventivas (como la vacunación), sistemas de análisis y registro de datos epidemiológicos, y aparatos de control. Objeto de análisis más cuidadoso son los grupos sociales "en riesgo", como los niños, las mujeres embarazadas, los ancianos y los trabajadores de las fábricas en las que se producen situaciones nocivas. Los controles se desarrollan también en el ambiente en general y sobre los modos de vida.

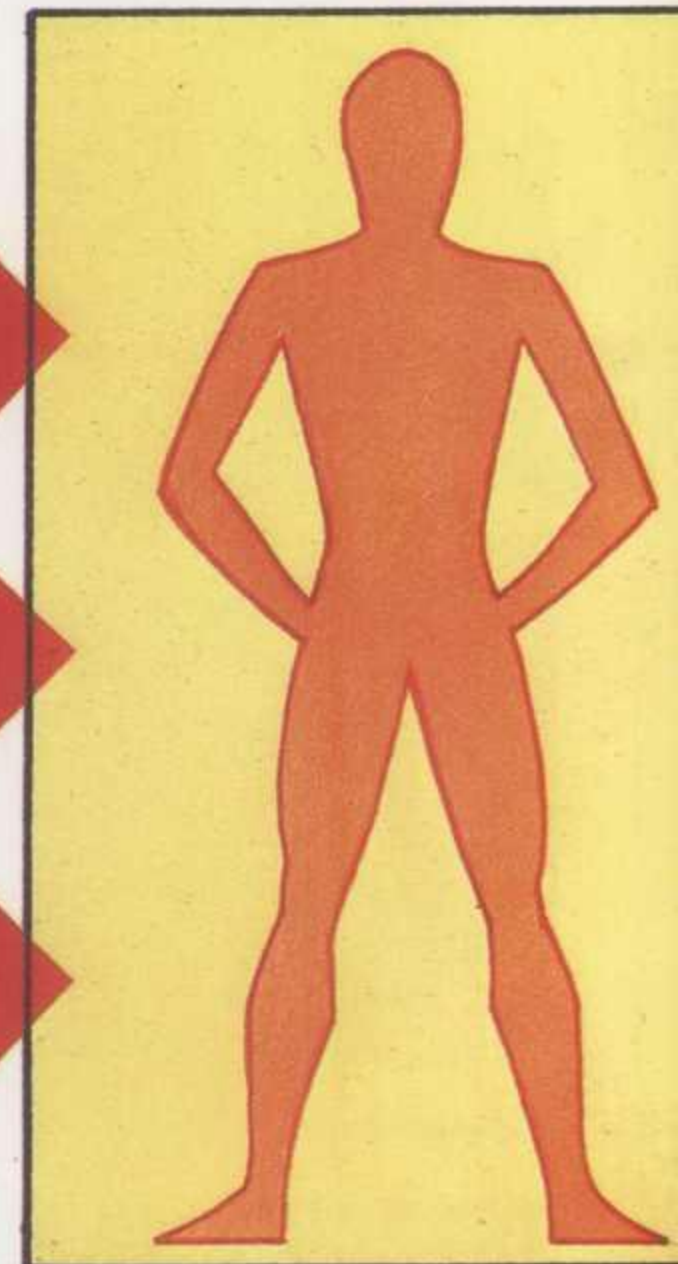


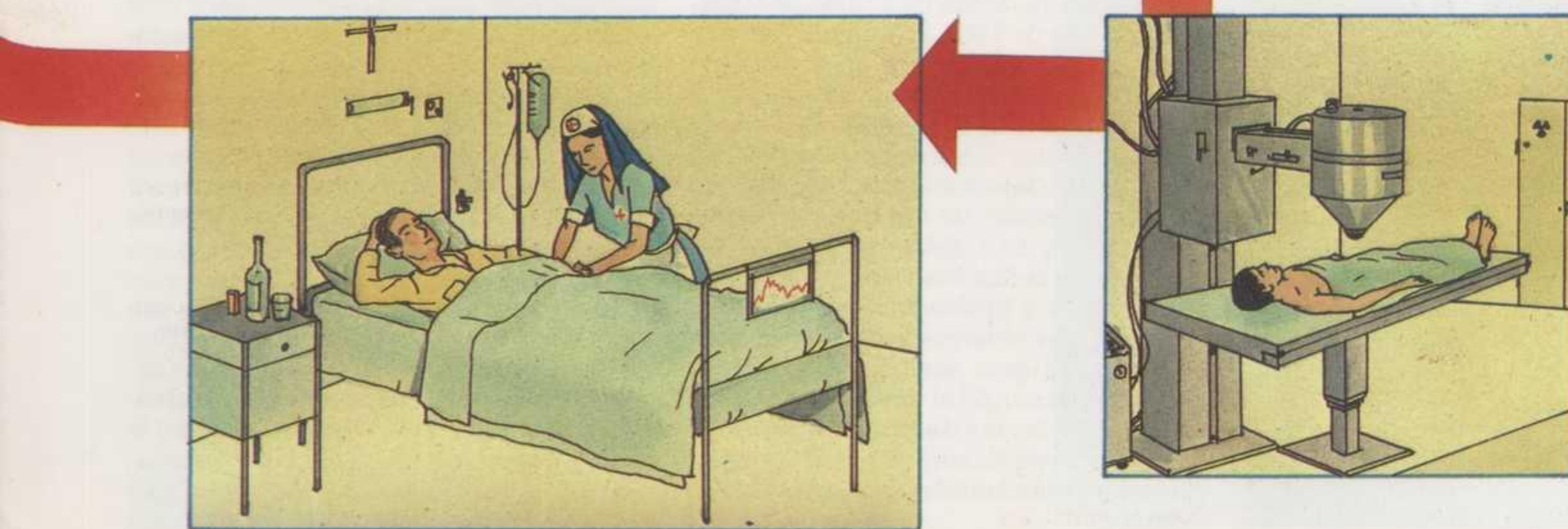
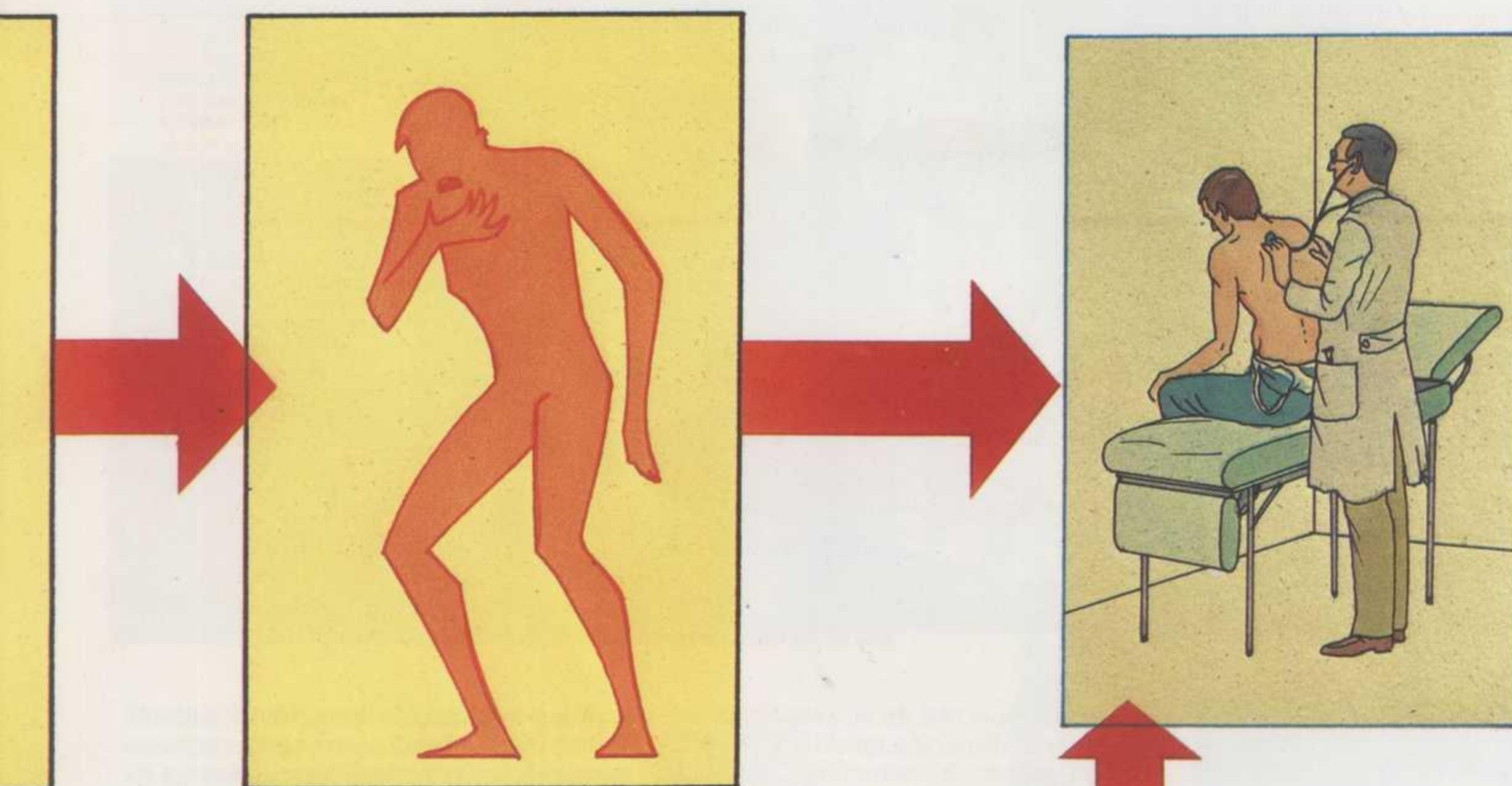
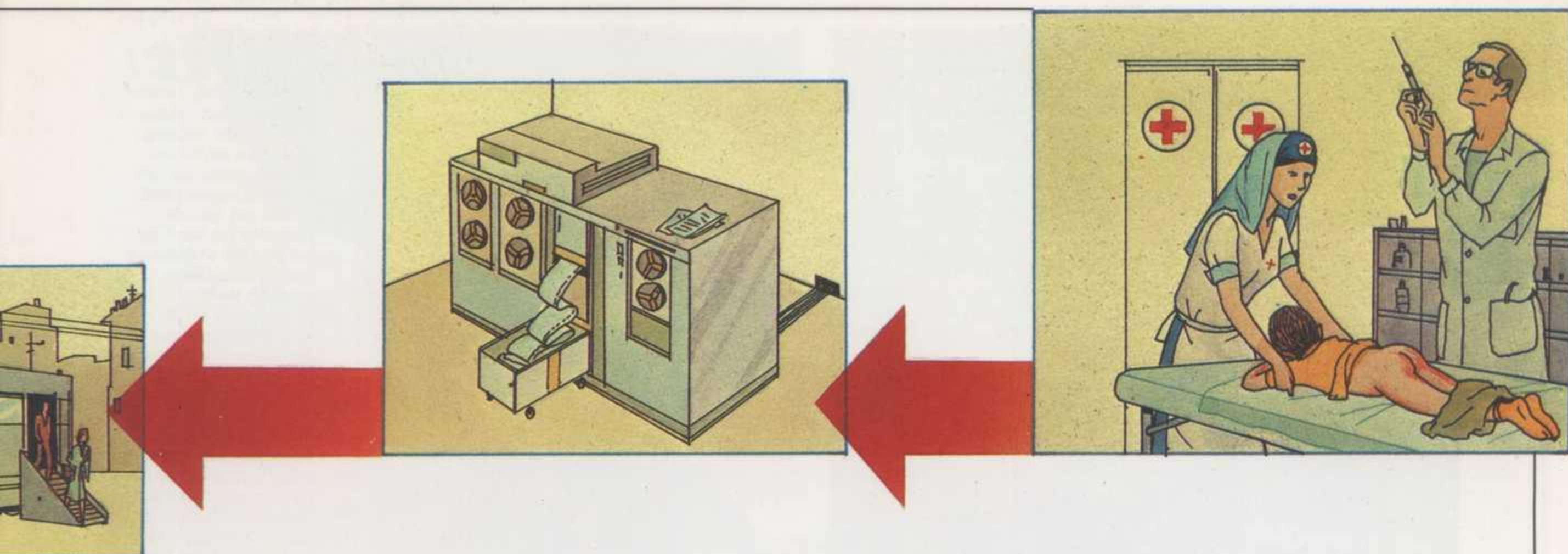
La calidad de la vida ha mejorado en varios aspectos después de la Revolución Industrial, pero han aparecido patologías nuevas. El estado de salud se ha visto comprometido de manera grave por afecciones relativamente nuevas en la historia de la patología humana, como la hipertensión

y distintas formas de cáncer. A muchas de estas enfermedades se les ha reconocido una etiología (causa) ambiental. El control de la salud en la población se desarrolla, por tanto, mediante la obtención de datos ambientales y evaluación de los factores de riesgo presentes en el ambiente. Las medidas

preventivas son raramente eficaces en la fase actual de desarrollo de la Medicina preventiva; es necesario entonces intervenir en sentido terapéutico y rehabilitativo para recobrar el buen estado de salud. Se considera que el sistema de gestión de la salud más válido es aquél en que la

dimensión terapéutica tiene menos desarrollo que la dimensión preventiva. Esto no sólo porque la salud es un bien que debe ser preservado, sino también porque desde el punto de vista económico los costes sociales de una enfermedad son enormes, por lo que es más rentable eliminar las causas.







La vacunación antivariólica, puesta a punto en 1796 por el médico inglés Jenner (representado abajo, a la izquierda, en una escultura de Giulio Monteverde), es hoy aplicada en muchos países del mundo. Consiste en conferir inmunidad al hombre contra la viruela a través de la inoculación en la epidermis del virus atenuado de la viruela bovina. Es aplicada (arriba, a la izquierda) generalmente en la parte alta y externa del brazo o del muslo. Unas pocas gotas de vacuna son inoculadas mediante incisiones ligeras y superficiales en la piel. A los pocos días aparece una aureola rojiza y luego una vesícula (arriba, a la derecha). A ésta sigue (debajo, en el centro) la formación de una pústula que consiste en una infección atenuada. Posteriormente se forma una costra dentro de los veinte días siguientes, para dejar espacio (abajo) a una cicatriz más o menos marcada. Esta vacuna, que confiere una inmunidad de notable duración, ha permitido hacer desaparecer la viruela en muchas partes del mundo, donde hoy la vacuna no es ya obligatoria.



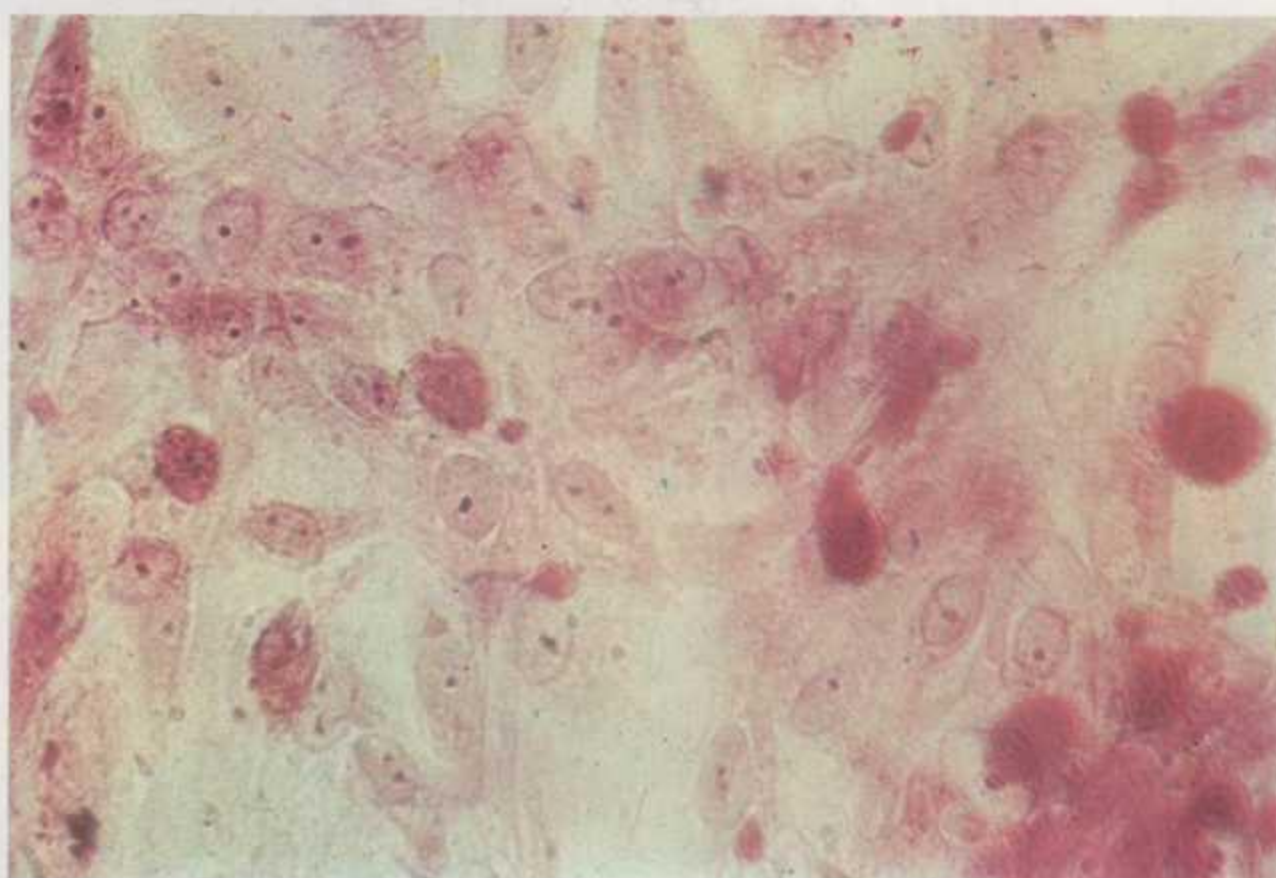
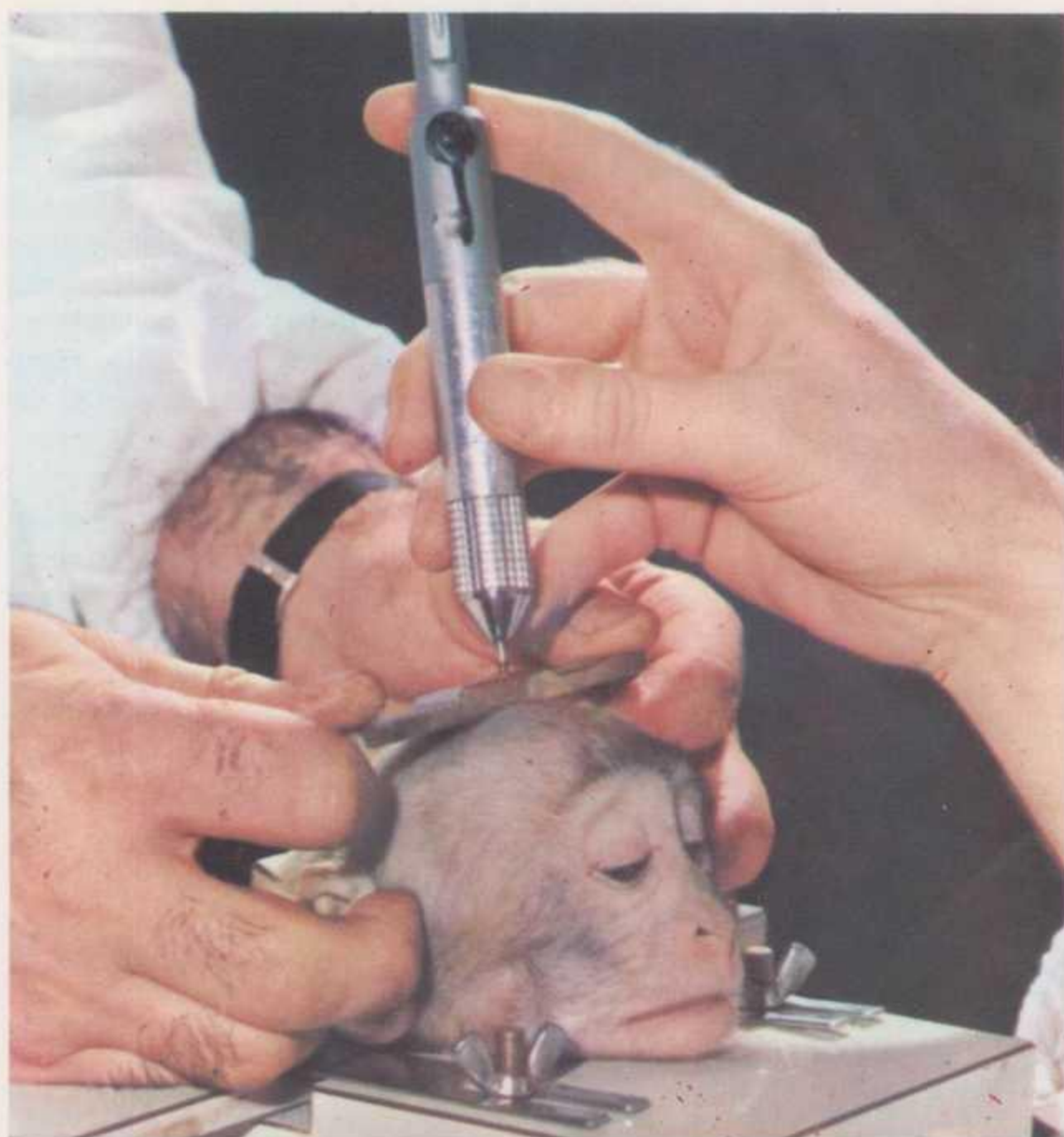
mo; estado de la red de alcantarillado; estado de la información médica y posibilidad de acceso a estructuras sanitarias cuando es necesario, etcétera.

Instituciones públicas y salud En el período que va desde finales de 1800 hasta comienzos de 1900, la Medicina ha realizado un gran avance con el surgimiento de instituciones sanitarias destinadas a controlar y regular la salud de la comunidad. En Estados Unidos, por ejemplo, se instituyeron departamentos de sanidad tras las epidemias de fiebre amarilla, cólera, viruela y tifus. Estos organismos tienen también la finalidad de desarrollar la investigación y profundizar en el conocimiento de las enfermedades. De análisis estadísticos a gran escala realizados por estos centros, surgió el descubrimiento de que las enfermedades epidémicas —como la peste bubónica y la fiebre amarilla— son transmitidas por organismos vivientes.

A medida que los bacteriólogos identificaban los distintos microorganismos causantes de enfermedades específicas y tomaban conocimiento de sus procesos reproductivos, se desarrollaron métodos para su control. La producción de vacunas para prevenir algunas enfermedades tuvo enormes consecuencias en el campo sanitario.

Actualmente, mediante la educación, la vacunación, el control sanitario de los niños en edad escolar, la prevención de los accidentes de trabajo, etc., se ha aumentado notablemente la calidad y duración de la vida.

Medidas a nivel internacional La posibilidad de que las epidemias se difundan de un país a otro ha hecho que las naciones del mundo cooperen en el establecimiento de una serie de normas, como la cuarentena y los programas de vacunación de las personas que viajan de un país a otro. En 1948 se instituyó la Organización



Mundial de la Salud, organismo especializado de las Naciones Unidas, cuyo objetivo es mejorar las condiciones sanitarias a nivel mundial. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido la salud como "un estado completo de bienestar físico, mental y social y no simplemente la ausencia de enfermedad o dolencia". A tal fin ha instituido reglamentos sanitarios internacionales y ha desarrollado programas informativos sobre los más recientes descubrimientos en el campo médico. Esta organización tiene también el fin de promover campañas contra las enfermedades epidémicas y desarrolla una intensa e importantísima actividad en los países del Tercer Mundo.

La preparación de una vacuna (en esta página, la fase productiva de la antipolio) comporta el cultivo del virus sobre células de mono en botellas especiales. Las células se utilizan para obtener una suspensión de virus atenuados: la vacuna. Es necesario controlar que esto no sea más patógeno. Se procede entonces a la inyección del preparado en el sistema nervioso central de 10 monos. Si ninguno de ellos después de veintidós días presenta signos de poliomyelitis u otras complicaciones, la vacuna es diluida y difundida para su suministro.

Véase **Enfermedad; Enfermedades infecciosas; Enfermedades tropicales; Enfermedades venéreas; Vacunación**

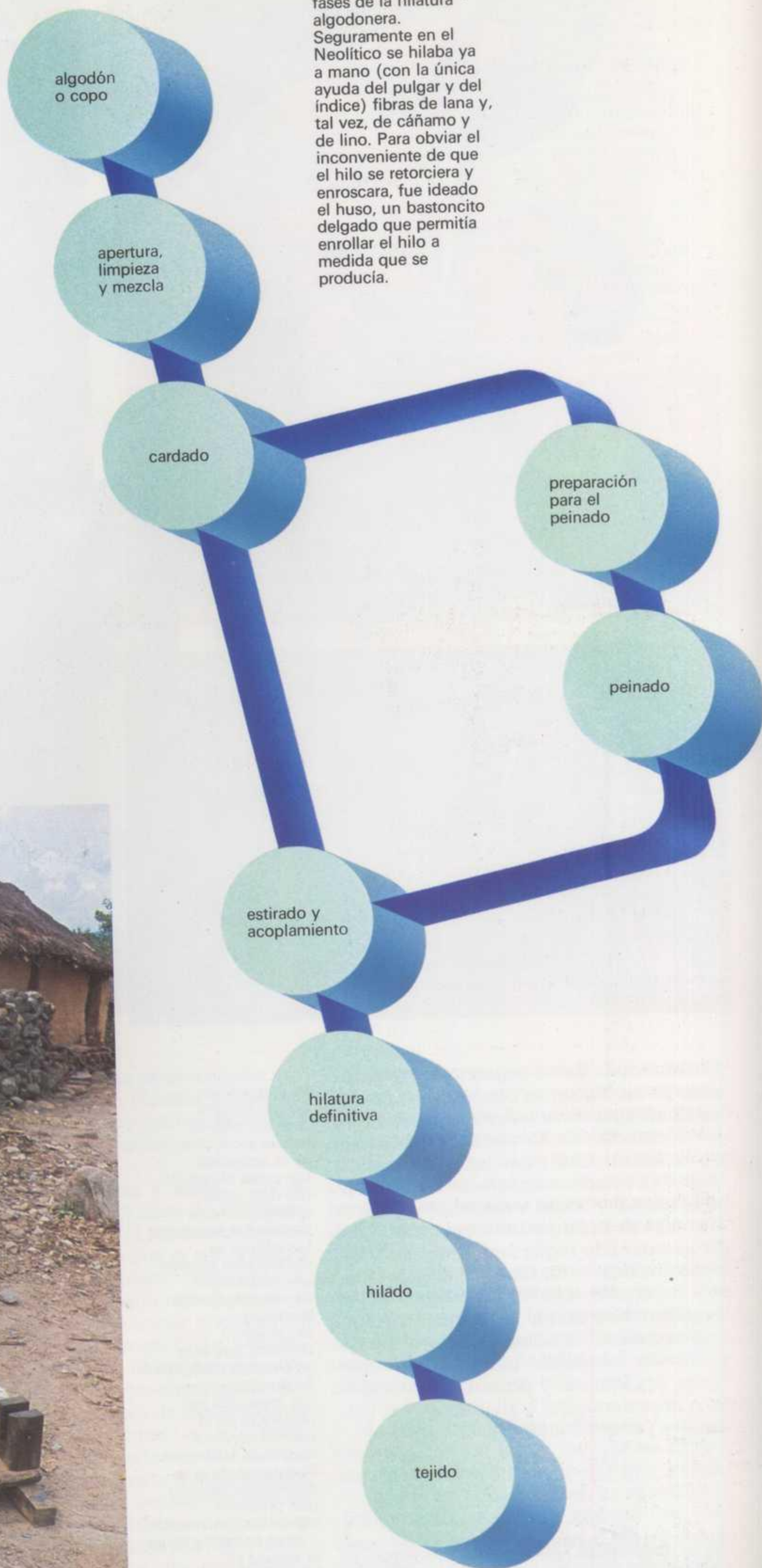
Hilados

Observando atentamente un trozo de hilo puede apreciarse que no está compuesto por un solo elemento, sino por varios entrelazados. Si a su vez se separan estos hilillos y se coloca uno bajo una lente de aumento, se podrá ver que está formado por fibras, cada una de las cuales es más corta que el trozo original. Ya desde la Prehistoria el hombre ha tejido estas cortas fibras en filamentos más largos, o *hilados*, que luego son transformados en tejidos.

Antes de la hilatura, las fibras están sueltas y toscas y son similares al algodón absorbente en rollos que se usa en primeros auxilios. Para transformarlas en hilado, es preciso pasar por las operaciones de desfibrado, paralelización, cardado e hilatura definitiva. Con el desfibrado, las fibras quedan dispuestas todas en la misma dirección, después de abrir y limpiar bien el copo; a continuación se tratan las fibras con el fin de disponerlas en un orden paralelo. El cardado sirve para eliminar impurezas y va seguido del peinado. Durante estas operaciones se produce un estiraje a través de las diferentes fases. Todas las fibras naturales —excepto la seda— como la lana, el lino y el algodón se hilan siguiendo estos principios, pero los detalles mecánicos son muy diferentes para cada grupo.

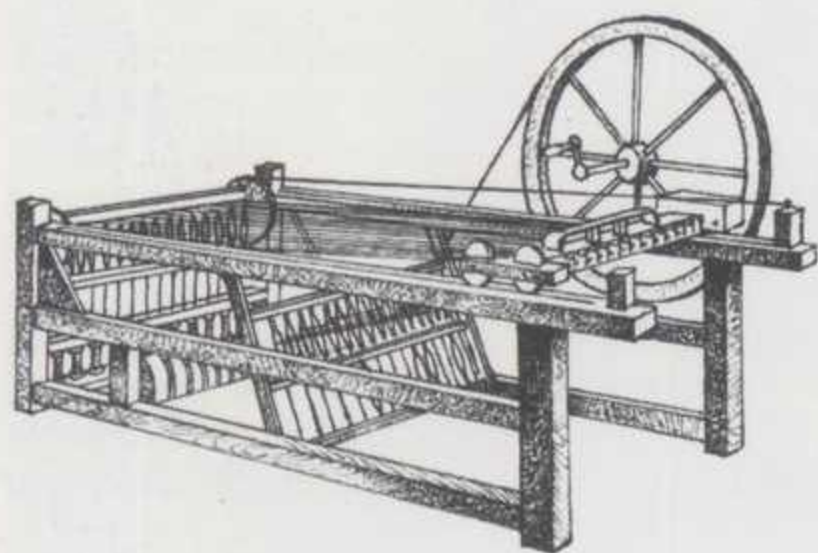
El método con el que estas fibras son transformadas en hilados no ha cambiado mucho con el paso del tiempo, aunque

Al lado, las principales fases de la hilatura algodonera. Seguramente en el Neolítico se hilaba ya a mano (con la única ayuda del pulgar y del índice) fibras de lana y, tal vez, de cáñamo y de lino. Para obviar el inconveniente de que el hilo se retorciera y enroscara, fue ideado el huso, un bastoncito delgado que permitía enrollar el hilo a medida que se producía.



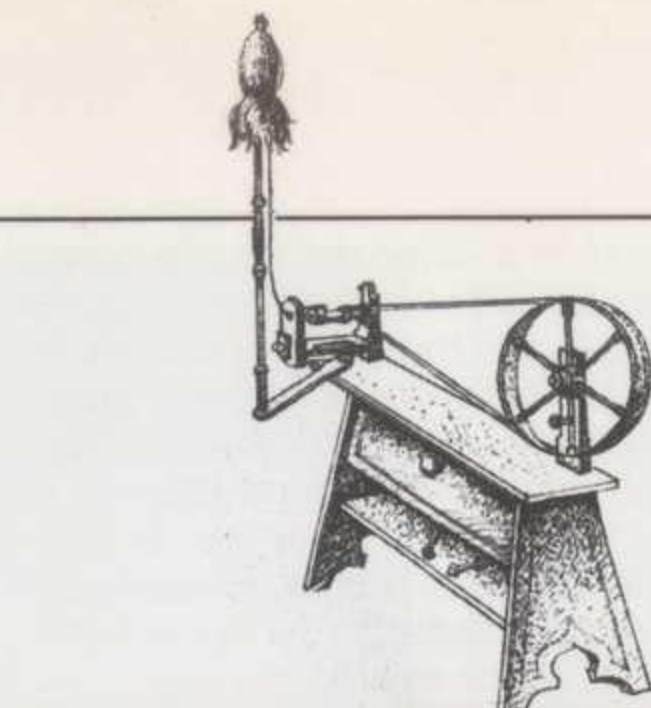
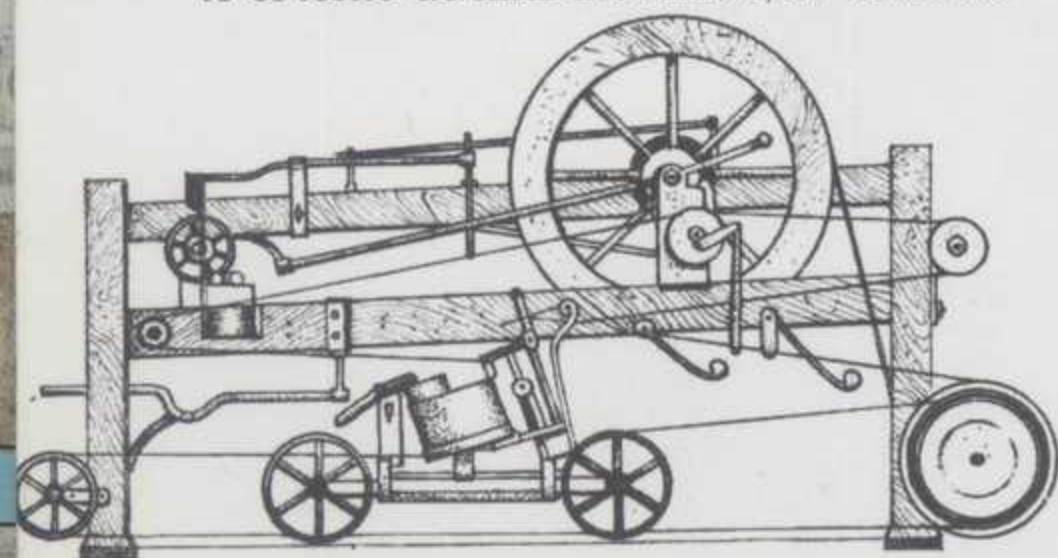
gracias a la industrialización los procesos se realizan de una forma mucho más veloz y refinada.

Métodos preindustriales El primer sistema para la hilatura consistía probablemente en un huso y una rueca. El conjunto de las fibras sueltas se unía a la *rueca*, que no era otra cosa que una vara de unos 30 cm de largo. Cerca del extremo de la rueca había un trozo de madera más corto, abombado y dentado, llamado *huso*. El hilador, o hilandero, hacía pasar las fibras de la rueca, que tenía bajo el brazo, por el huso y después dejaba caer éste lentamente al suelo. El huso giraba cuando caía, trenzando las fibras en un hilo. Cuando el huso tocaba el suelo, el hilador enrollaba el hilo alrededor de las entalladuras del huso para fijarlo y luego comenzaba la labor de nuevo. Este proceso continuaba hasta que el lino (fibra vegetal tosca) o el vellón (lana tosca) quedaba hilado.



La rueda de hilar, desarrollada en la India, pero no usada en Europa hasta el siglo XIV, constituyó la primera mejora aportada a la hilatura con huso y rueca. Esta rueda hizo posible girar el huso, trenzar las fibras y enrollar el hilo mecánicamente en vez de manualmente. En 1519, Leonardo da Vinci inventó la *aleta*, un elemento que trenzaba el hilo antes de que fuese enrollado sobre una bobina. La rueca va montada en un extremo de la rueda. El hilador, manualmente, lleva la fibra al huso, que está montado horizontalmente y gira cuando el hilador mueve la rueda. La aleta trenza el hilo poco antes de que sea enrollado.

Métodos modernos de hilado La hilatura llegó a ser, gracias a una serie de mejoras mecánicas llevadas a cabo entre 1738 y 1779, una importante actividad industrial. En 1764, James Hargreaves inventó el torno de hilar mecánico, un torno do-



A la izquierda, el más antiguo torno de hilar de aletas que se conoce. Debajo, a la izquierda, la máquina inventada por James Hargreaves: una serie de husos mecanizados de funcionamiento intermitente, llamada por el inventor *Spinning Jenny*

(*"Juanita hiladora"*). Más abajo, una selfactina ideada por S. Crompton en 1779, máquina semiautomática que permitía la elaboración simultánea de numerosos hilos. Aquí abajo, moderna máquina de hilar de aletas.



tado de 8 husos. Dos años después, elaboró una máquina con 100 husos. Estos tornos de hilar funcionaban con vapor, lo que significaba, al menos para aquellos tiempos, que los hilados eran producidos a gran escala.

Actualmente, en la industria textil, las fibras naturales antes de ser hiladas son sometidas a una serie de procesos: máquinas especializadas eliminan las impurezas (como los restos de las cápsulas del algodón), mezclan diversas fibras con las características requeridas (por ejemplo, las mezclas de lana), cardan los elementos individuales que constituyen el hilo y finalmente los rematan y extienden en toda su longitud.

El hilado es efectuado sobre todo mediante dos métodos, de los que el más difundido se basa en el empleo de una máquina de anillos. Se trata de una máquina de hilar continua, formada por centenares de husos montados verticalmente en el interior de un anillo metálico, no giratorio. Fijado al borde de este anillo hay un alambre en forma de C, llamado *cursor*, que se desplaza libremente a lo largo del anillo; la fibra que sale de los cilindros de estirado pasa a través de este cursor hacia la bobina donde se produce el torcido. Los husos de las máquinas de anillo pueden llegar a alcanzar más de 15.000 revoluciones por minuto. La máquina de hilar de anillos se usa mucho en la industria del algodón.

El hilado "sin fin" constituye un método todavía más veloz. Mientras que en el hilado de anillo las fibras son trenzadas y enrolladas simultáneamente, en este tipo de hilatura los dos pasos ocurren separadamente. Las fibras son separadas (o "abiertas") por medio de la aspiración. Van una tras de otra con interrupciones, o espacios vacíos, y son trenzadas al final de las fibras que las preceden. En este caso, las fibras son trenzadas o cerradas. Los elementos rodantes de las máquinas para retorcer en este tipo de hilado pueden alcanzar 45.000 revoluciones por minuto. La principal desventaja del hilado "sin fin" consiste en el hecho de que no es muy apropiado para los hilos compuestos por fibras numerosas y finas. Por consiguiente, es empleado sobre todo para materiales bastos, como por ejemplo el yute. La velocidad resultante de la mecanización es, sin lugar a dudas, un paso adelante respecto al hilado manual. No obstante, algunas telas confeccionadas con fibras delicadas, que no podrían soportar la tensión a que serían sometidas por la fricción del hilo con los elementos de las máquinas, son hiladas generalmente a mano. Por ejemplo, las preciosas muselinas indias de Dacca están formadas por hilos tan delicados que, mirados al trasluz, hacen parecer la tela casi transparente.

Véase **Fibras y tejidos sintéticos; Tejidos, fabricación de; Telar; Telar de Jacquard**

Hipnosis

Palabras como estas: usted tiene sueño... mucho sueño... sus ojos son tan pesados que no logra mantenerlos abiertos... se siente muy relajado... etc., han llevado a muchas personas a un estado de hipnosis. La persuasiva voz del hipnotizador y la oscilación pendular de un reloj —una imagen muy popular ligada a la hipnosis— contribuyen a ejercer una especie de encantamiento sobre el sujeto.

La hipnosis tiene sus orígenes modernos en los trabajos de un médico austriaco, Franz Anton Mesmer, quien, en el siglo XVIII, trataba de curar a sus pacientes mediante el poder persuasivo del "magnetismo animal". Esta teoría, obviamente, suscitó numerosas controversias.

Eficacia de la hipnosis Actualmente, la hipnosis, lejos ya de ser considerada como algo mágico o relacionado con el magnetismo, representa una útil ayuda en el campo de la Medicina, de la Psicología y de la Psicoterapia. Sus poderes sugestivos son tales que algunos pacientes han sido sometidos a operaciones —por ejemplo, de apendicitis— utilizando la hipnosis como única anestesia. En otros casos, como el de personas que padecían amnesia de origen traumático, la hipnosis ha sido utilizada para ayudarles a recordar. Las personas que están simplemente viendo la televisión o escuchando una grabación pueden caer en trance tras haber oído las sugerencias hipnóticas persuasivas de un buen hipnotizador. En relación con esto, una ley inglesa de 1952 sobre el hipnotismo llegó a limitar las demostraciones públicas de hipnosis, por temor a las reacciones negativas que pudieran resultar.

Los efectos de la hipnosis son bien conocidos. Sin embargo, resulta mucho más difícil aclarar los mecanismos de este proceso y dar una exacta definición de los mismos. La hipnosis parece ser un estado

de reposo mental lejos del estado normal de conciencia. Este estado alterado, a menudo denominado *trance hipnótico*, permite al individuo recordar conceptos y situaciones (incluidas ideas contradictorias y situaciones maníacas) con extremada intensidad y claridad. Un elemento clave de este estado similar al trance consiste en la receptividad del individuo a las sugerencias efectuadas por el hipnotizador.

Relación hipnotizador-hipnotizado Se trata de un factor con frecuencia infravalorado. La hipnosis está basada en una relación que se crea entre el hipnotizador y el sujeto que va a ser hipnotizado. La simple voluntad de la persona para hacerse hipnotizar no garantiza, sin embargo, que se pueda alcanzar un estado hipnótico profundo y tampoco que el hipnotizador sea hábil. Muchas personas logran solamente un estado hipnótico superficial y algunos no consiguen hacerse hipnotizar en absoluto. Además, el sujeto debe tener confianza y familiaridad con el hipnotizador. Todo ello lleva consigo dos ventajas: el sujeto se encuentra más propenso a responder a las sugerencias y el hipnotizador está en mejor disposición para formular preguntas y para sugerir al sujeto.

Cualquiera que haya asistido a una demostración pública de hipnosis conoce probablemente sus aspectos más cómicos. Al sujeto se le dice que sus brazos son demasiado pesados y, efectivamente, no es capaz de moverlos (un fenómeno conocido con el nombre de *respuesta ideomotora*), o se le dice que hace frío y comienza a temblar (*respuesta fisiológica*). Estos son ejemplos de cómo los sujetos hipnotizados son sensibles a las sugerencias y cómo tales sugerencias pueden ser utilizadas con fines muy diversos.

Eficacia de la sugestión en Medicina

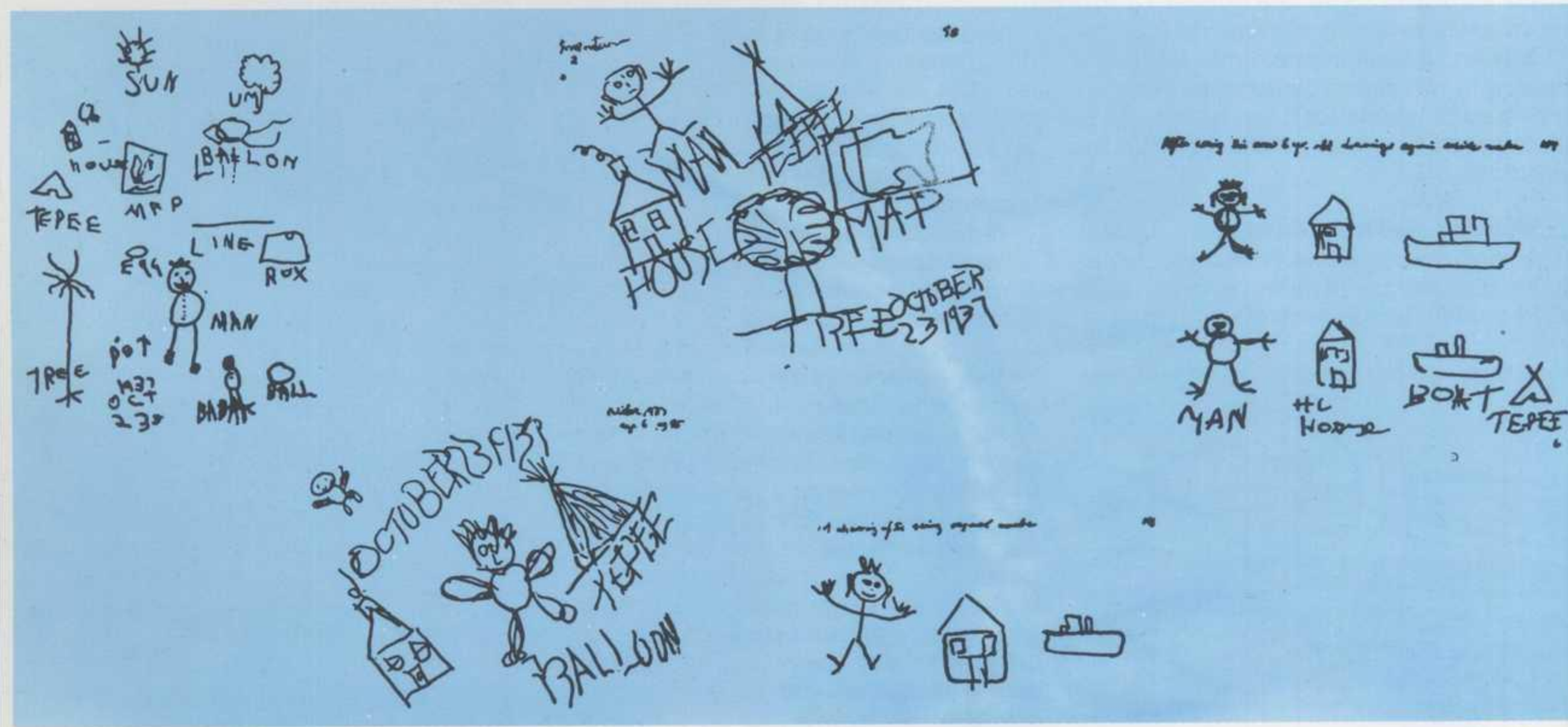
En algunos casos cabe la posibilidad de

evocar recuerdos y el sujeto hipnotizado es transportado al pasado en el tiempo, reviviendo episodios intensos desde el punto de vista emocional. Este retorno al pasado parece no tener ningún valor terapéutico por sí mismo, pero puede resultar muy útil en tratamientos de psicoterapia. La hipnosis puede, además, ser utilizada para provocar cambios de actitud en el sujeto: se puede, por ejemplo, decir a un individuo "solitario" que posee cualidades muy agradables y con ello obtener el efecto de que el sujeto sea mucho menos tímido, más abierto, mejorando de forma generalizada sus esquemas de comportamiento.

La sugestión hipnótica, utilizada como anestésico, ha dado buenos resultados en el parto, la cirugía odontológica y en los enfermos de cáncer que se encuentran en estado terminal. Además, se ha mostrado muy útil para reducir algunos de los síntomas de trastornos psicosomáticos, como la tensión alta, exantemas fugaces de la piel y dolor de cabeza.

En algunos casos, el hipnotizador puede formular sugerencias que persisten incluso después de que el sujeto ha salido del estado hipnótico. Si estas sugerencias poshipnóticas son adecuadas para el sujeto, pueden resultar particularmente útiles para eliminar hábitos indeseables. Muchas personas, por ejemplo, confían en las sugerencias poshipnóticas para intentar dejar de fumar, abandonar el alcohol o para adelgazar.

Véase **Cerebro; Fisiología; Medicina; Nervioso, sistema**





Los mecanismos que provocan el fenómeno de la hipnosis permanecen aún desconocidos en gran parte, a pesar de que sus manifestaciones son perfectamente

apreciables incluso con la utilización de instrumentos. En las dos fotografías sobre estas líneas aparecen dos técnicas hipnóticas sensiblemente

diferentes: a la izquierda, la hipnosis es practicada por el médico o por un especialista; el sujeto es invitado a fijar la mirada en un objeto animado con

movimiento periódico y uniforme hasta el momento en que cae en hipnosis. El método para inducir la hipnosis puede variar dentro de límites muy amplios: luces, música y gestos

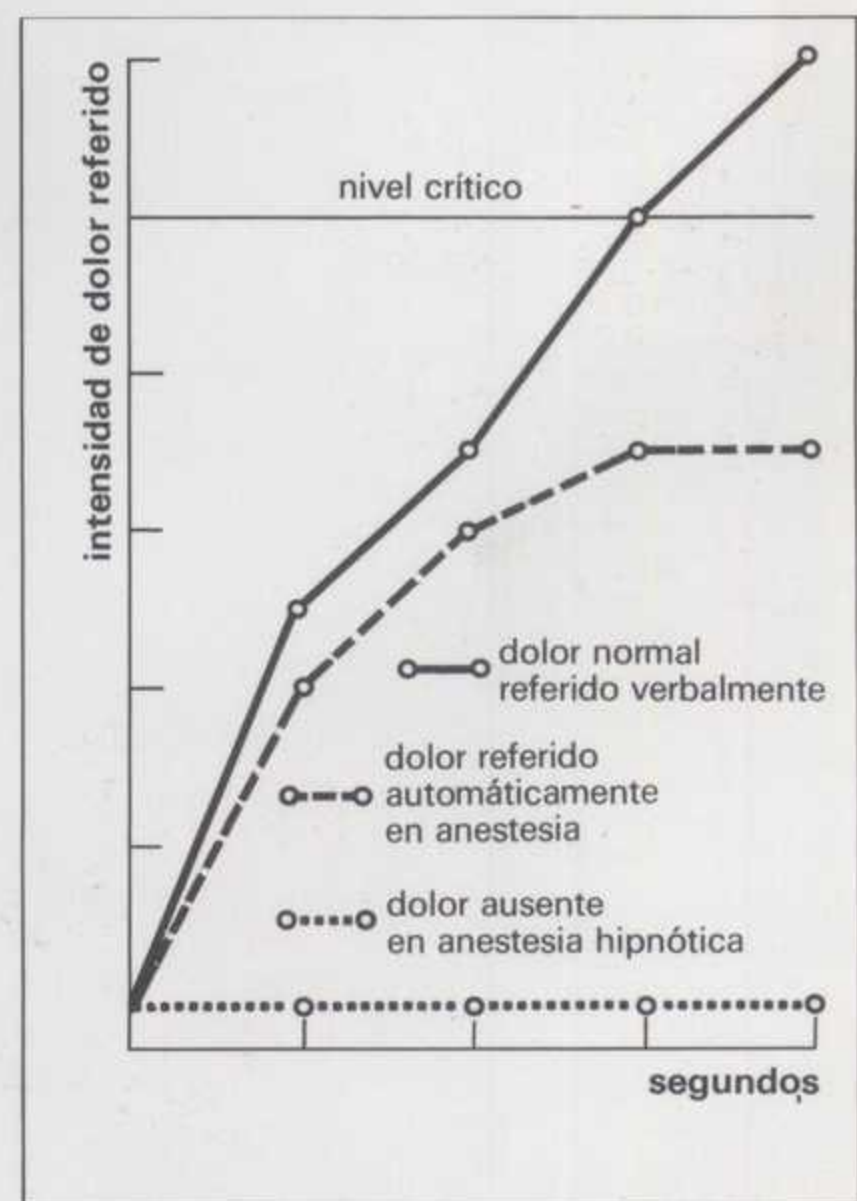
sirven para crear los mecanismos condicionantes de la hipnosis. A la derecha se ilustra la técnica de la autohipnosis, en la que el sujeto

se aplica a sí mismo las técnicas hipnóticas. Abajo, a la izquierda, los dibujos muestran el efecto regresivo de la hipnosis. A la derecha, acción sobre el dolor.

THIS IS AFTER JUST
SEEING MY GENUIN
SIX YEAR OLD FABRICA-
SHUNS

HOUSE
BOAT
TE PEE
I'M IMAGINING
175 OCTOBER 23, 1937

MY CONDUCTING
AN E-EXPERIMENT
WITH WILLIAMS
MY PSYCHOLOGICAL
CAPACITIES



Hipocausto

El hipocausto es una de las formas más primitivas de calefacción central. Desarrollados por los romanos en el siglo I a. de C. para los grandes baños públicos, o termas, los sistemas de hipocausto calentaban también las habitaciones de algunas casas privadas.

Se pueden encontrar restos de hipocaustos en numerosas ruinas romanas, especialmente en el *Atrium Vestae* (Casa de las Vestales), en las termas de Caracalla, en Roma, o en los baños públicos del foro de Pompeya. El sistema se utiliza todavía en las *hammas* (baños turcos) del Cercano Oriente.

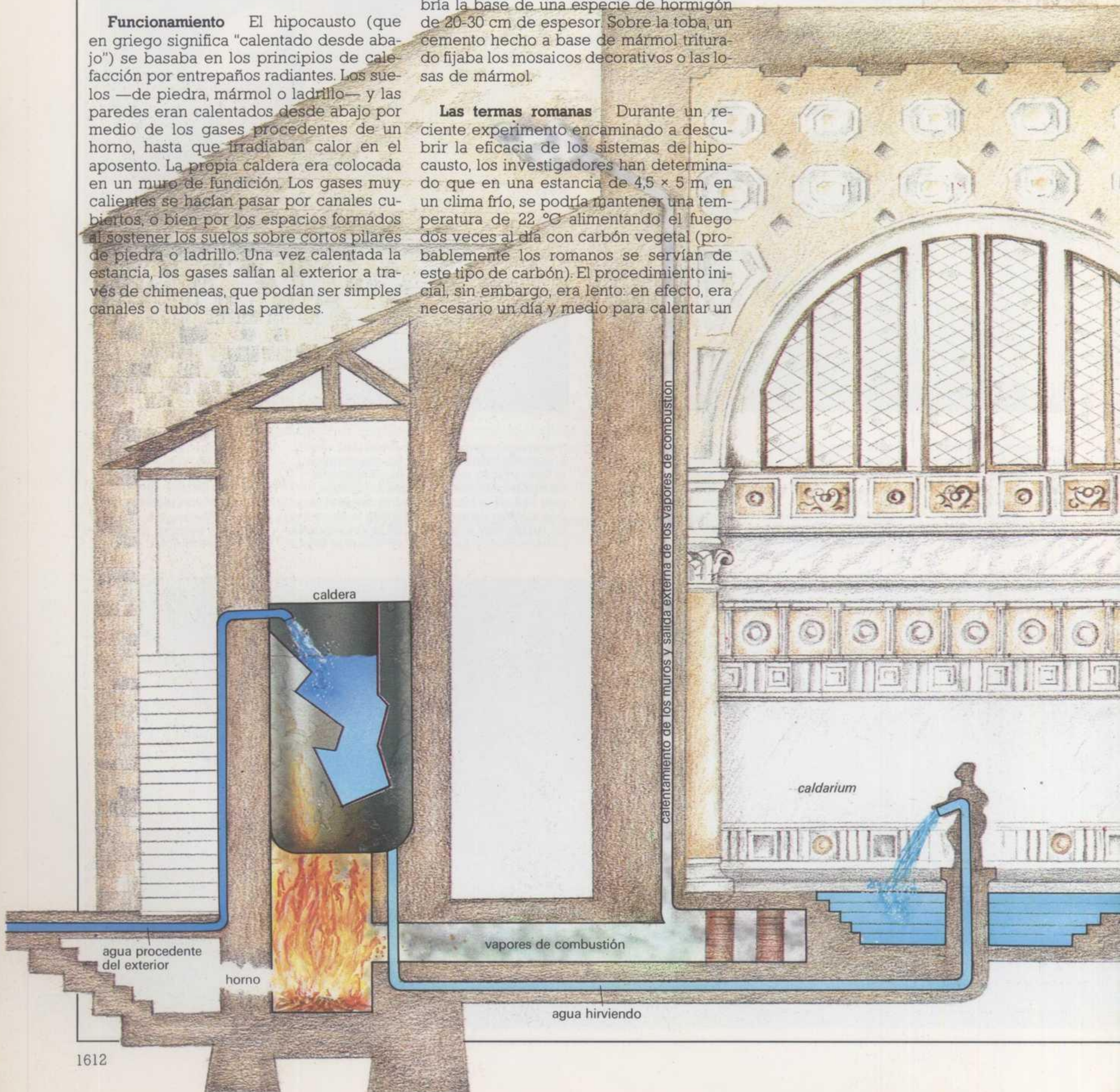
Funcionamiento El hipocausto (que en griego significa "calentado desde abajo") se basaba en los principios de calefacción por entrepaños radiantes. Los suelos —de piedra, mármol o ladrillo— y las paredes eran calentados desde abajo por medio de los gases procedentes de un horno, hasta que irradiaban calor en el aposento. La propia caldera era colocada en un muro de fundición. Los gases muy calientes se hacían pasar por canales cubiertos, o bien por los espacios formados al sostener los suelos sobre cortos pilares de piedra o ladrillo. Una vez calentada la estancia, los gases salían al exterior a través de chimeneas, que podían ser simples canales o tubos en las paredes.

La estructura de los pavimentos huecos era complicada. La cavidad de la instalación de caldeo era empedrada con cemento recubierto de baldosas. El suelo del aposento se apoyaba sobre cortas pilas llamadas *suspensurae*, con una superficie de alrededor de 20 x 20 cm y una altura de 60-90 cm. Generalmente eran sólidas y estaban formadas por ladrillos colocados uno sobre otro; pero a veces estaban huecas, como las tuberías de la pared, con agujeros para facilitar la circulación del aire caliente. Una capa de fragmentos de cerámica y toba (roca porosa) triturada bajo el suelo del aposento recubría la base de una especie de hormigón de 20-30 cm de espesor. Sobre la toba, un cemento hecho a base de mármol triturado fijaba los mosaicos decorativos o las losas de mármol.

Las termas romanas Durante un reciente experimento encaminado a descubrir la eficacia de los sistemas de hipocausto, los investigadores han determinado que en una estancia de 4,5 x 5 m, en un clima frío, se podría mantener una temperatura de 22 °C alimentando el fuego dos veces al día con carbón vegetal (probablemente los romanos se servían de este tipo de carbón). El procedimiento inicial, sin embargo, era lento: en efecto, era necesario un día y medio para calentar un

El dibujo representa la sección de unas termas romanas; se aprecia el sistema de calefacción adoptado para las habitaciones y para el agua de los depósitos. Los gases de la combustión procedentes de la caldera circulan a través de conductos practicados en los muros y de aquí, después de haber calentado las paredes, salen al exterior. Otros

conductos transportan el agua caliente al invernáculo. Parte del agua llega muy caliente al depósito y el resto, después de haberse entibiado a lo largo del recorrido, llega a la piscina de la habitación balneario. Enormes cisternas de cobre o de bronce eran constantemente alimentadas por cañerías, que sacaban el agua al exterior del edificio.



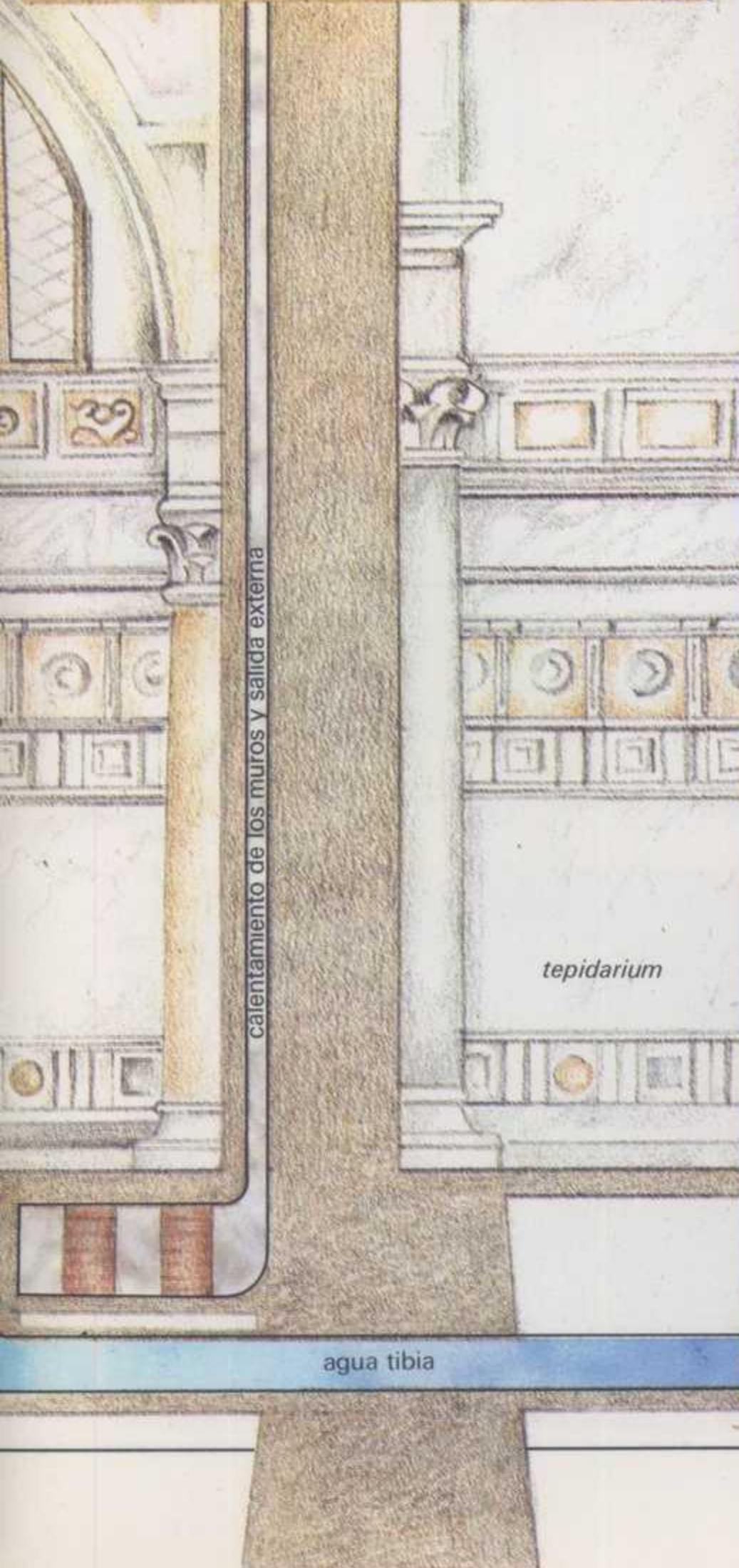
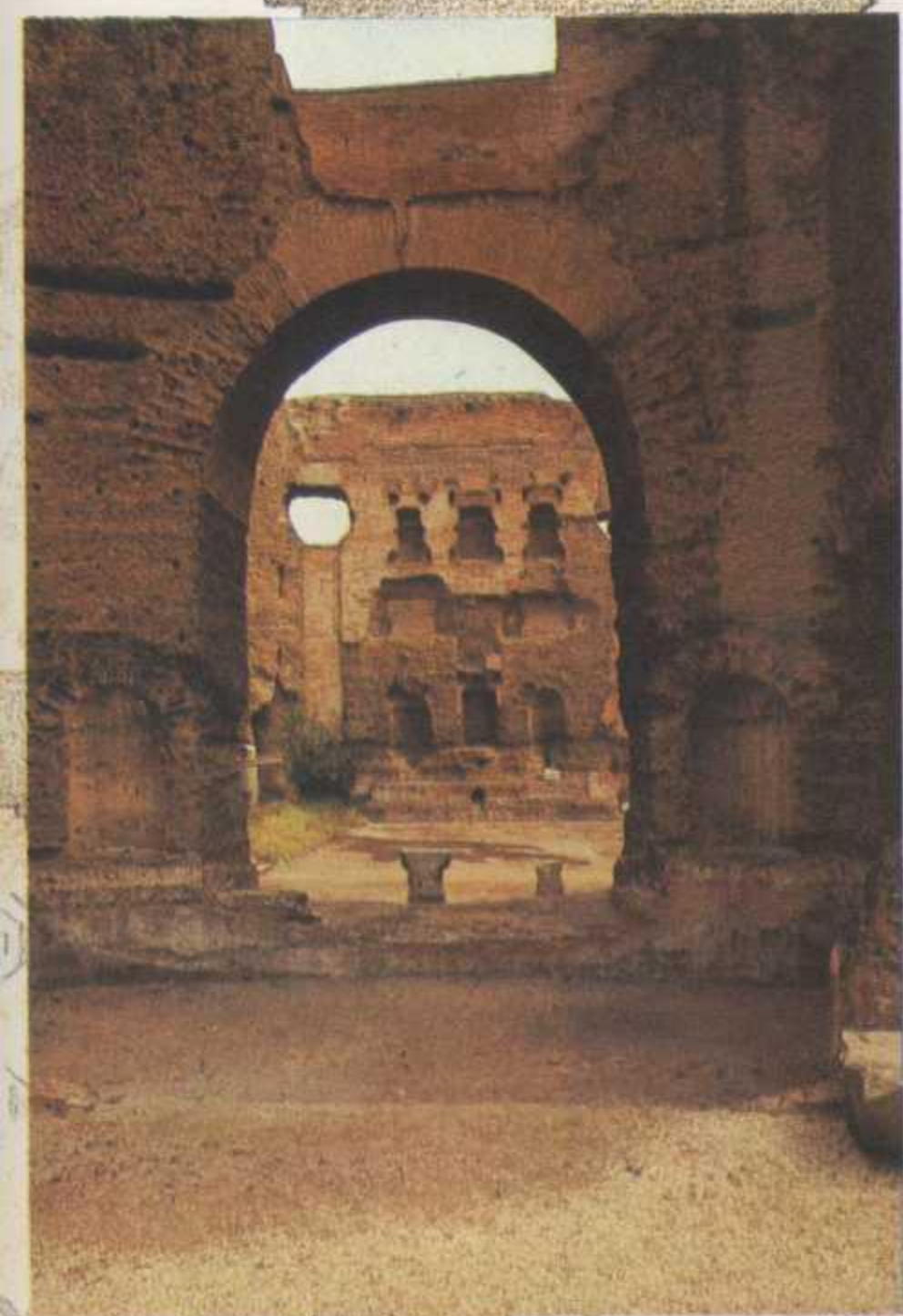
apuesto a través de las gruesas paredes y del suelo.

Es realmente difícil imaginar la extensión de las termas romanas si nunca se han visto sus ruinas. La sala principal —el invernáculo de Caracalla— llegaba a medir 55×24 m y el artesonado alcanzaba una altura de 30 m. Este aposento, por suerte para los esclavos que alimentaban la caldera, sólo era moderadamente caldeado. La habitación más cálida, llamada *sudoratio*, o estancia para la sudoración, medía alrededor de 15×15 m. El *caldarium*, o baño hirviente, en las termas de Caracalla tenía forma circular con un diámetro de casi 45 m. Las ventanas de este aposento eran amplias y altas, orientadas al sur para beneficiarse de los rayos del Sol.

Las estancias más calientes de las termas estaban situadas cerca o directamente encima de las calderas, o *præfurnia*, mientras que progresivamente más alejadas se situaban las habitaciones que debían estar menos caldeadas, haciendo así más eficaz la explotación de este sistema de calefacción.

El suelo principal de las termas estaba construido a unos 5,5 m sobre el nivel del terreno, de forma que el espacio situado debajo era atravesado por un dedalo de corredores, espacios huecos para el hipocausto y cámaras para las calderas, formadas por enormes recipientes de cobre en los que hervía el agua.

Véase **Calefacción central**



Hipófisis

Pocos de los órganos que constituyen el cuerpo humano fueron interpretados de manera tan incorrecta y equivocada como lo fue la *hipófisis*, o *glándula pituitaria*, por la ciencia renacentista. Estudiada en el siglo XVI por el anatomista Andrea Vesalio, el nombre de esta glándula endocrina —esto es, privada de conducto excretor— deriva de *pituita*, término utilizado para describir una sustancia de naturaleza similar al moco. Vesalio pensó, erróneamente, que el moco nasal era segregado por la glándula pituitaria.

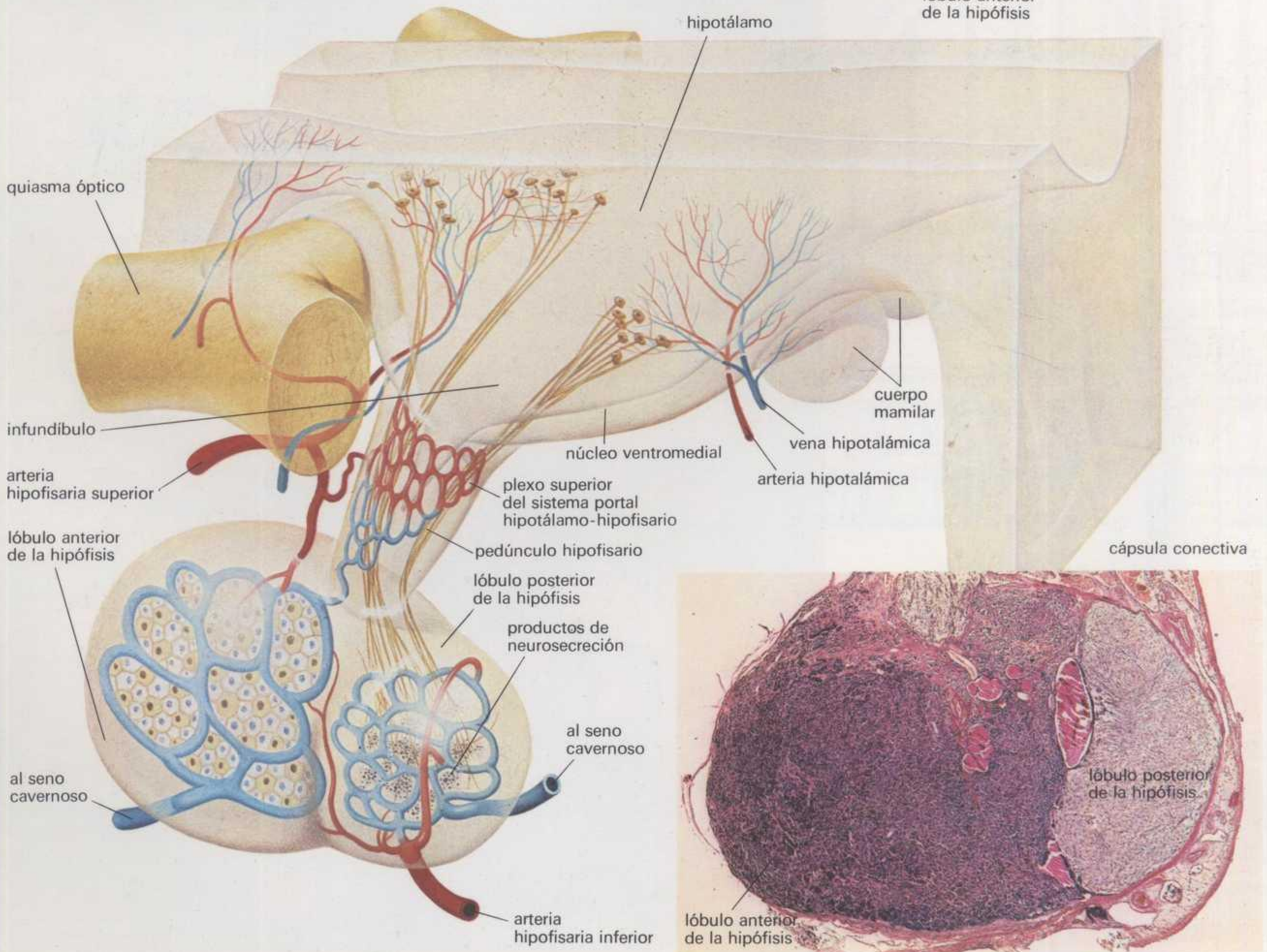
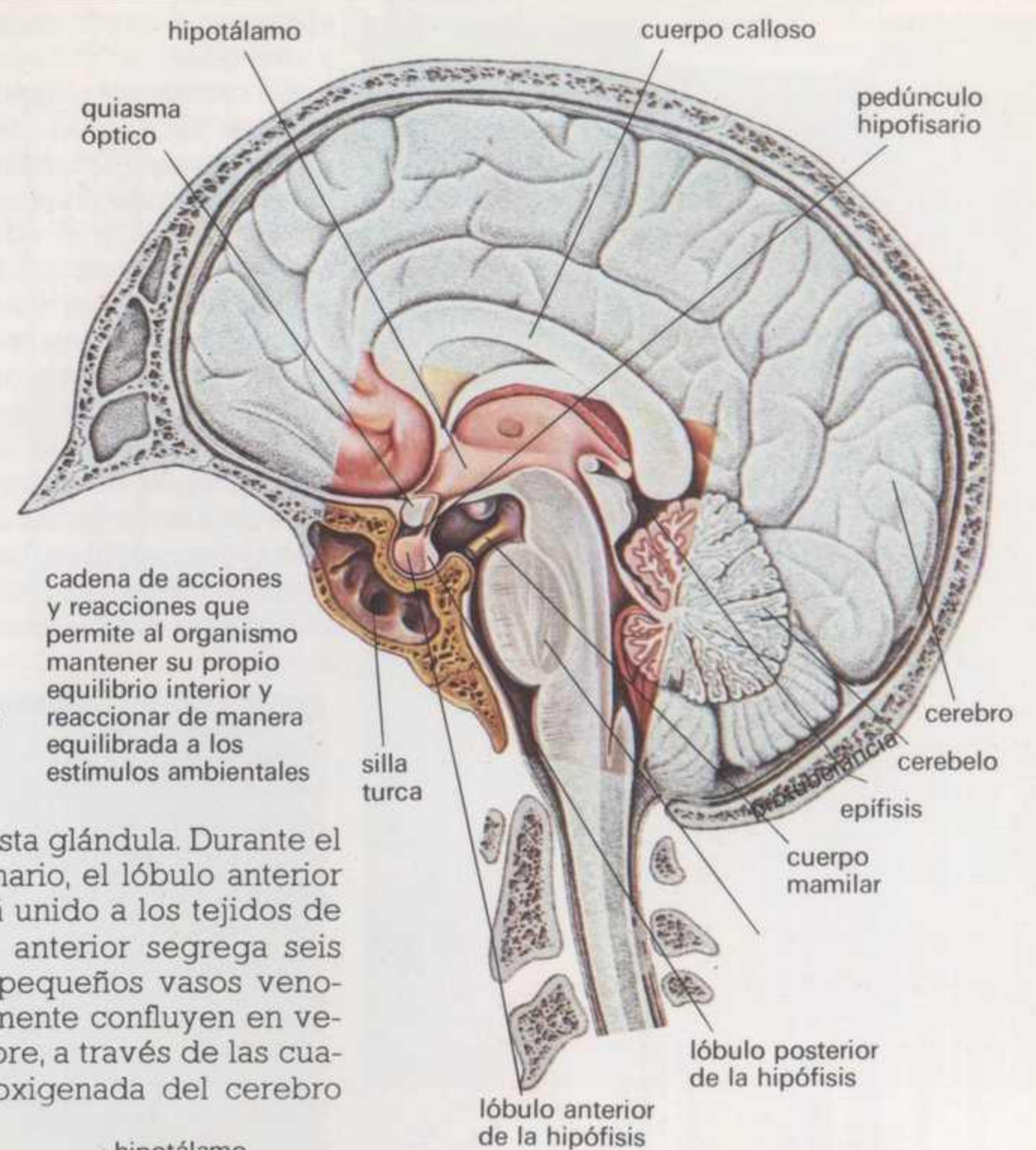
En realidad, hoy sabemos que la hipófisis desempeña otras funciones de mayor importancia. Esta glándula actúa sobre el organismo como centro de control bioquímico, regulando funciones fundamentales, como son el crecimiento y la maduración sexual, y controlando la secreción hormonal de otras glándulas endocrinas.

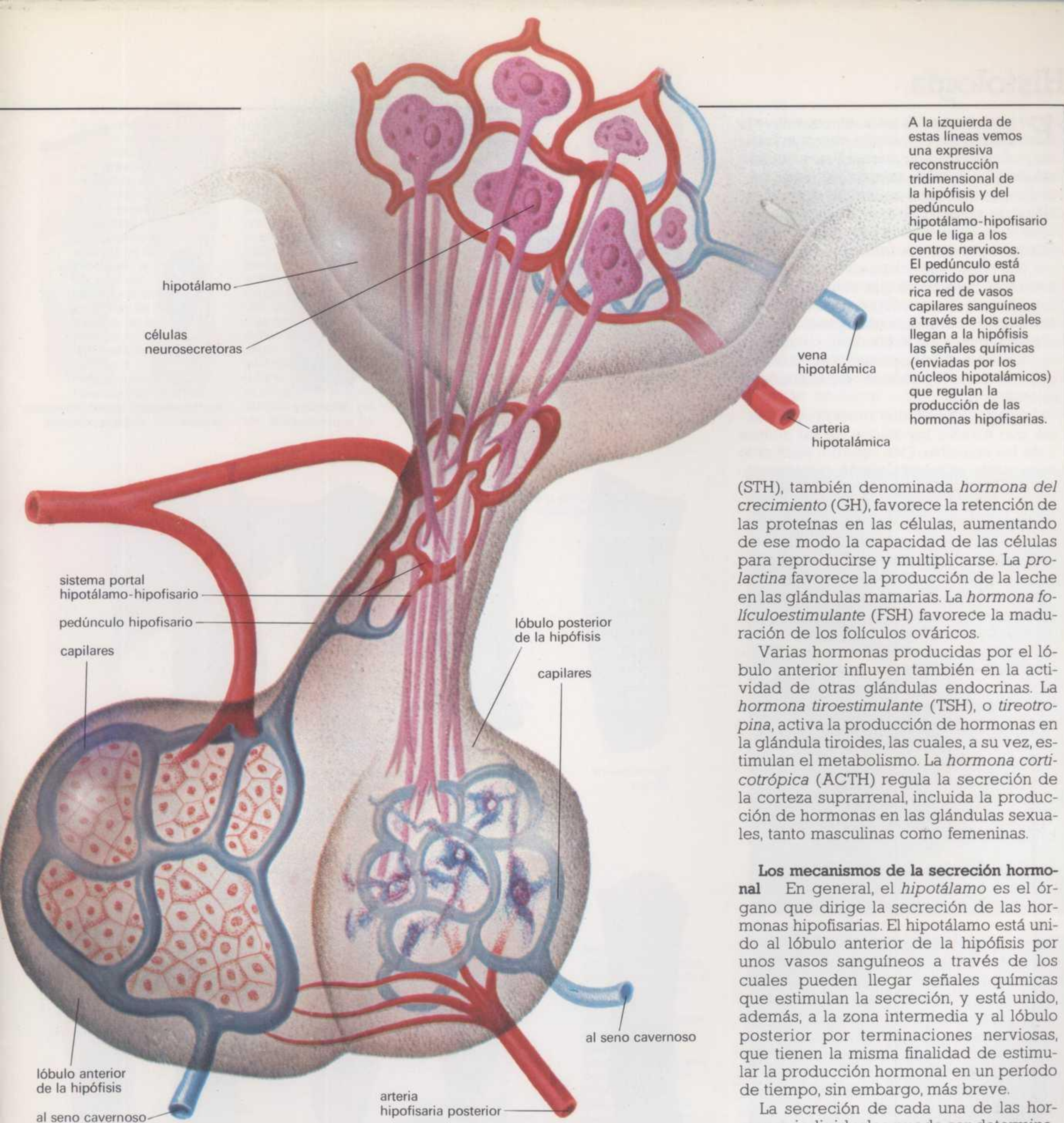
Anatomía de la hipófisis Esas funciones tan importantes las lleva a cabo una pequeña glándula de forma ovalada y de unos 13 milímetros de longitud, situada en la concavidad de uno de los huesos que constituyen el cráneo, concretamente en la base del encéfalo.

La estructura en dos lóbulos de la hipófisis, única en su género, explica las varia-

das funciones de esta glándula. Durante el desarrollo embrionario, el lóbulo anterior de la hipófisis está unido a los tejidos de la boca. El lóbulo anterior segrega seis hormonas a unos pequeños vasos venosos, que posteriormente confluyen en venas de mayor calibre, a través de las cuales la sangre desoxigenada del cerebro

cadena de acciones y reacciones que permite al organismo mantener su propio equilibrio interior y reaccionar de manera equilibrada a los estímulos ambientales





A la izquierda de estas líneas vemos una expresiva reconstrucción tridimensional de la hipófisis y del pedúnculo hipotálamo-hipofisario que le liga a los centros nerviosos. El pedúnculo está recorrido por una rica red de vasos capilares sanguíneos a través de los cuales llegan a la hipófisis las señales químicas (enviadas por los núcleos hipotalámicos) que regulan la producción de las hormonas hipofisarias.

(STH), también denominada *hormona del crecimiento* (GH), favorece la retención de las proteínas en las células, aumentando de ese modo la capacidad de las células para reproducirse y multiplicarse. La *prolactina* favorece la producción de la leche en las glándulas mamarias. La *hormona folículoestimulante* (FSH) favorece la maduración de los folículos ováricos.

Varias hormonas producidas por el lóbulo anterior influyen también en la actividad de otras glándulas endocrinas. La *hormona tiroestimulante* (TSH), o *tireotropina*, activa la producción de hormonas en la glándula tiroides, las cuales, a su vez, estimulan el metabolismo. La *hormona corticotrópica* (ACTH) regula la secreción de la corteza suprarrenal, incluida la producción de hormonas en las glándulas sexuales, tanto masculinas como femeninas.

Los mecanismos de la secreción hormonal En general, el *hipotálamo* es el órgano que dirige la secreción de las hormonas hipofisarias. El hipotálamo está unido al lóbulo anterior de la hipófisis por unos vasos sanguíneos a través de los cuales pueden llegar señales químicas que estimulan la secreción, y está unido, además, a la zona intermedia y al lóbulo posterior por terminaciones nerviosas, que tienen la misma finalidad de estimular la producción hormonal en un período de tiempo, sin embargo, más breve.

La secreción de cada una de las hormonas individuales puede ser determinada por distintos tipos de estímulo, lo cual indica cómo el organismo humano controla de modos diferentes sus propias funciones. La hormona estimulante del tiroides (TSH), por ejemplo, se libera cuando el cerebro registra una tasa excesivamente baja de hormonas tiroideas en la sangre. La vasopresina se libera cuando disminuye la presión sanguínea, condición registrada por unos sensores nerviosos localizados en las paredes de los vasos sanguíneos. La oxitocina se libera cuando se estimulan los pezones (por ejemplo, con la succión por parte del lactante).

vuelve al corazón. Por su parte, el lóbulo posterior de la hipófisis durante ese mismo período está unido al cerebro: en efecto, dicho lóbulo está ligado al hipotálamo (una parte del cerebro) mediante un pedúnculo de tejido rico en fibras nerviosas y vasos sanguíneos. En el lóbulo posterior, que se relaciona con el anterior a través de una pequeña lámina de tejido intermedio, se han aislado dos hormonas importantes, la *vasopresina* y la *oxitocina*. Estas hormonas se producen, en realidad, en el hipotálamo, si bien posteriormente emigran a través de las células nerviosas hacia el lóbulo posterior. La hipófisis libera hormonas en respuesta a señales recibidas del cerebro.

Las hormonas de la hipófisis La vasopresina y la oxitocina son importantes hormonas segregadas por el lóbulo posterior de la hipófisis. La vasopresina favorece la absorción de agua en los riñones, contribuyendo a la regulación del equilibrio hídrico del organismo. La oxitocina da lugar a la secreción de la leche en las glándulas mamarias y favorece las contracciones del útero durante el parto. Ambas hormonas están constituidas por cortas cadenas de polipéptidos, es decir, secuencias de ocho aminoácidos.

Las hormonas producidas por el lóbulo anterior de la hipófisis influyen en diversos procesos bioquímicos que tienen lugar en el organismo. La *somatotropina*

Véase **Endocrino, sistema; Glándula; Glándulas mamarias; Glándulas suprarrenales; Hormonas**

Histología

El profano, por lo general, considera la epidermis como una delgada capa de piel que protege al organismo del ambiente circundante. Para el histólogo, por el contrario, la epidermis es un tipo específico de tejido o un conjunto de células concretas altamente especializadas. Estas células epidérmicas se organizan en estratos o capas estrechamente unidas unas con otras, de manera que constituyen una superficie que se recubre de una sustancia córnea, denominada *queratina*. Por consiguiente, para el histólogo, la epidermis es un tejido especializado formado por "epitelio escamoso estratificado y queratinizado."

La **Histología** es una rama de la Biología que estudia los tejidos de las plantas y de los animales. Este estudio, efectuado empleando primordialmente el microscopio, trata de explicar de qué manera las células, los conglomerados celulares y las sustancias que se encuentran entre las células colaboran en el desarrollo de las distintas funciones de los tejidos y órganos más grandes. En la moderna Histología, cualquier cosa, desde las más grandes moléculas que se encuentran en las células hasta los órganos internos, puede ser estudiada en sus más minuciosos detalles químicos y estructurales (la Citología, por el contrario, se limita al estudio de las células). La Histología tiene un gran significado fundamentalmente en la patología: es, efectivamente, con los métodos histológicos con los que se exploran las modificaciones que, a nivel celular y tisular, explican la transformación en sentido patológico de un tejido y, por consiguiente, de un órgano.

Tipos de tejidos En los animales superiores están presentes generalmente cuatro tipos de tejidos fundamentales, con muchas variaciones y subdivisiones ulteriores. Los *tejidos epiteliales* están formados por células estrechamente adosadas, que tienden a recubrir las superficies (tanto internas como externas) de las estructuras orgánicas. El tejido epitelial, por ejemplo, constituye la epidermis, el revestimiento del aparato digestivo y las paredes internas de las venas y arterias. Los *tejidos conjuntivos*, típicos de los tendones, de los cartílagos y de los huesos, están constituidos por un número menor de células, mezcladas con una sustancia no celular densa que son las fibras de colágeno. Estos tejidos pueden ser tan densos y fibrosos que resulten sólidos, o bien pueden ser de naturaleza bastante elástica, como en el caso de las cápsulas que circundan a los otros tejidos.

El *tejido muscular* puede ser liso, como en los músculos de los vasos sanguíneos, y estriado, como en los músculos esqueléticos. La característica principal del tejido muscular es su contractilidad, esto es, su capacidad para contraerse y relajarse, lo cual permite la realización del movimiento necesario para la respiración, para el latido cardíaco y para la locomoción. El *tejido nervioso* está constituido por las cé-



Zenker-formol,
Mallory-azan

coloración
supravital verde
Janus

no coloreada
en supervivencia

hematoxilina
eosina

ácido peryódico
leucofucsina

hematoxilina
ferrica

formalina neutra
10%-hematoxilina
ferrica

Zenker-formol
hematoxilina
ferrica

Zenker-acético
hematoxilina
ferrica

reacción
plasmal

hematoxilina
eosina

formalina neutra
hematoxilina
eosina

Zenker-formol
hematoxilina
eosina

Zenker-acético
hematoxilina
eosina

congelación
hematoxilina
eosina

lulas nerviosas y por la red de conexiones formada por los nervios que permite que los impulsos nerviosos viajen desde el cerebro a las otras partes del organismo.

Métodos utilizados en Histología Antes de la invención del microscopio electrónico y de algunos instrumentos complejos, los histólogos se basaban en el microscopio óptico para muchos de sus trabajos. No obstante, muchos microscopios ópticos se utilizan también actualmente,

principalmente en los trabajos que no requieren ampliaciones extraordinarias. Debido a que los tejidos raramente pueden ser observados *in vivo*, por lo general son extirpados de los animales y fijados (es decir, conservados rápidamente después de muerto el animal), de manera que la estructura real se mantenga. Los tejidos fijados pueden posteriormente ser sumergidos en cera, que les confiere una forma sólida. Una vez sólido, el tejido puede ser cortado con un micrótopo, instrumento que puede cortar secciones de tejido de

La Histología es una ciencia que siempre ha encontrado un valioso instrumento en la utilización de sustancias químicas. Efectivamente, algunos colorantes son particularmente útiles para poner de manifiesto al microscopio estructuras poco evidentes de otra manera. En la página anterior se han representado los hallazgos microscópicos de células epiteliales del intestino delgado de una cobaya. Como

puede observarse, las células, vistas con una ampliación de 1.620 aumentos, pueden ser coloreadas y conservadas de muy distintos modos, cada uno de los cuales posee una peculiaridad específica: por ejemplo, en las células coloreadas con hematoxilina-eosina, uno de los métodos más habituales, las estructuras aparecen de un color azul-violeta (fila inferior), mientras que el citoplasma adopta distintos matices del rosa.

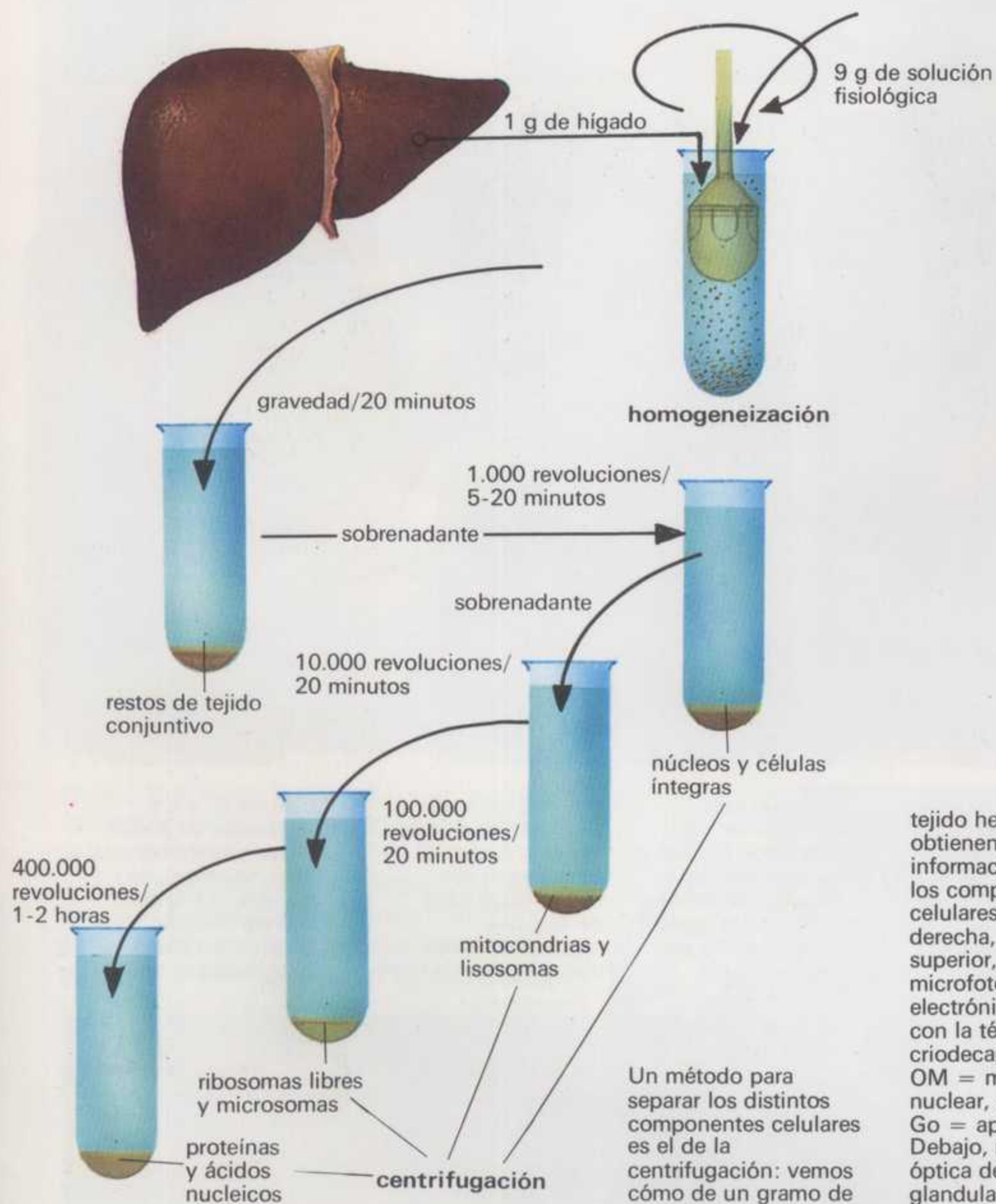
HISTOLOGIA OPTICA Y ELECTRONICA

MICROSCOPIA OPTICA

Tejidos, células a nivel de morfología superficial. Máximo poder de resolución: 0,2 micrómetros (μm).

MICROSCOPIA ELECTRONICA

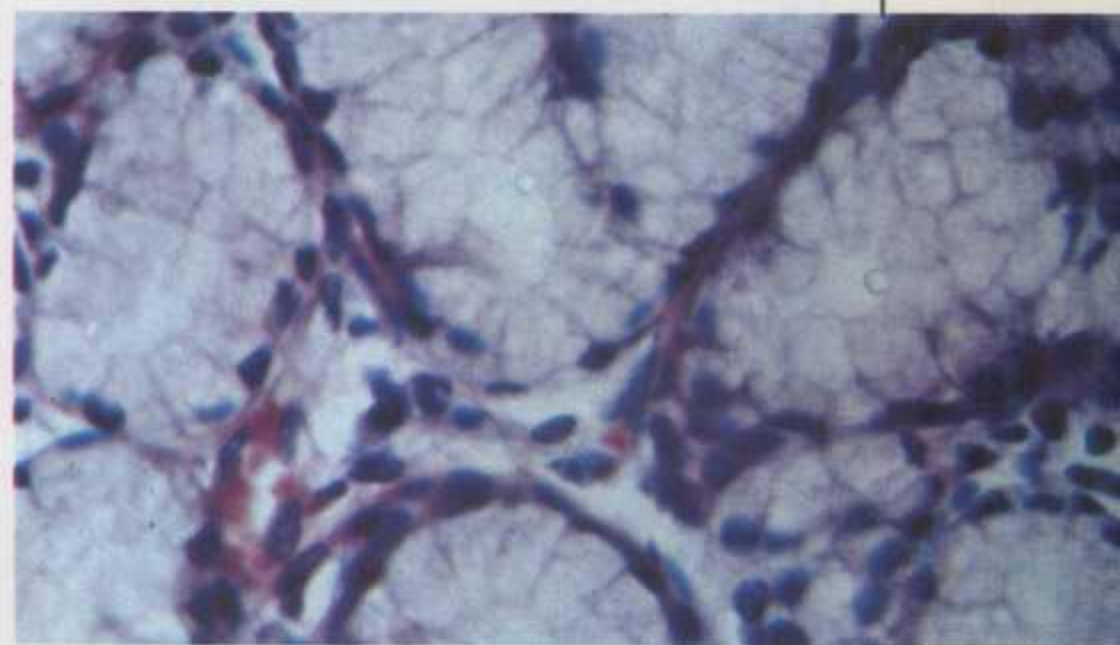
Células a nivel subnuclear, con resolución de la estructura de la membrana y de los organelos citoplásmicos. Máximo poder de resolución: 0,2-0,5 nanómetros (nm).



tejido hepático se obtienen detalladas informaciones sobre los componentes celulares. A la derecha, en la parte superior, microfotografía electrónica obtenida con la técnica del criodecapado: OM = membrana nuclear, d = depresión, Go = aparato de Golgi. Debajo, microfotografía óptica de un epitelio glandular.

en el caso de los cultivos de tejidos animales, por un *caldo de cultivo* (tejidos embrionarios, fragmentos vegetales) o bien por una solución de sales minerales, aminoácidos, vitaminas, suero animal y jugos embrionarios. Para los tejidos vegetales, se utiliza un material de constitución más simple, a base de sales minerales, vitaminas y glucosa.

Por lo general, los tejidos vivos son incapaces de absorber las sustancias colorantes que no atraviesan las membranas celulares. Sin embargo, existen algunas células, principalmente los fagocitos, que poseen la peculiaridad de que son capaces de englobar —por fagocitosis— pequeñas gotas de algunas sustancias colo-



un grosor incluso inferior a 70 angström (un angström es la cienmillonésima parte del centímetro). Esas finas láminas de tejido pueden ser coloreadas con un determinado número de tinciones, cada una de las cuales facilita la detección de ciertas estructuras, células y componentes celulares. Por ejemplo, el ácido desoxirribonucleico (ADN), visto al microscopio, aparece de color púrpura después de que los tejidos hayan sido tratados con una combinación especial de colorantes. Para ser observados al microscopio electrónico,

los tejidos fijados se sumergen en materiales como los plásticos o las resinas epoxídicas, y se cortan en láminas de un espesor de 1/10.000 de milímetro. El microscopio puede así revelar estructuras minúsculas, como proteínas, lípidos, polisacáridos y enzimas.

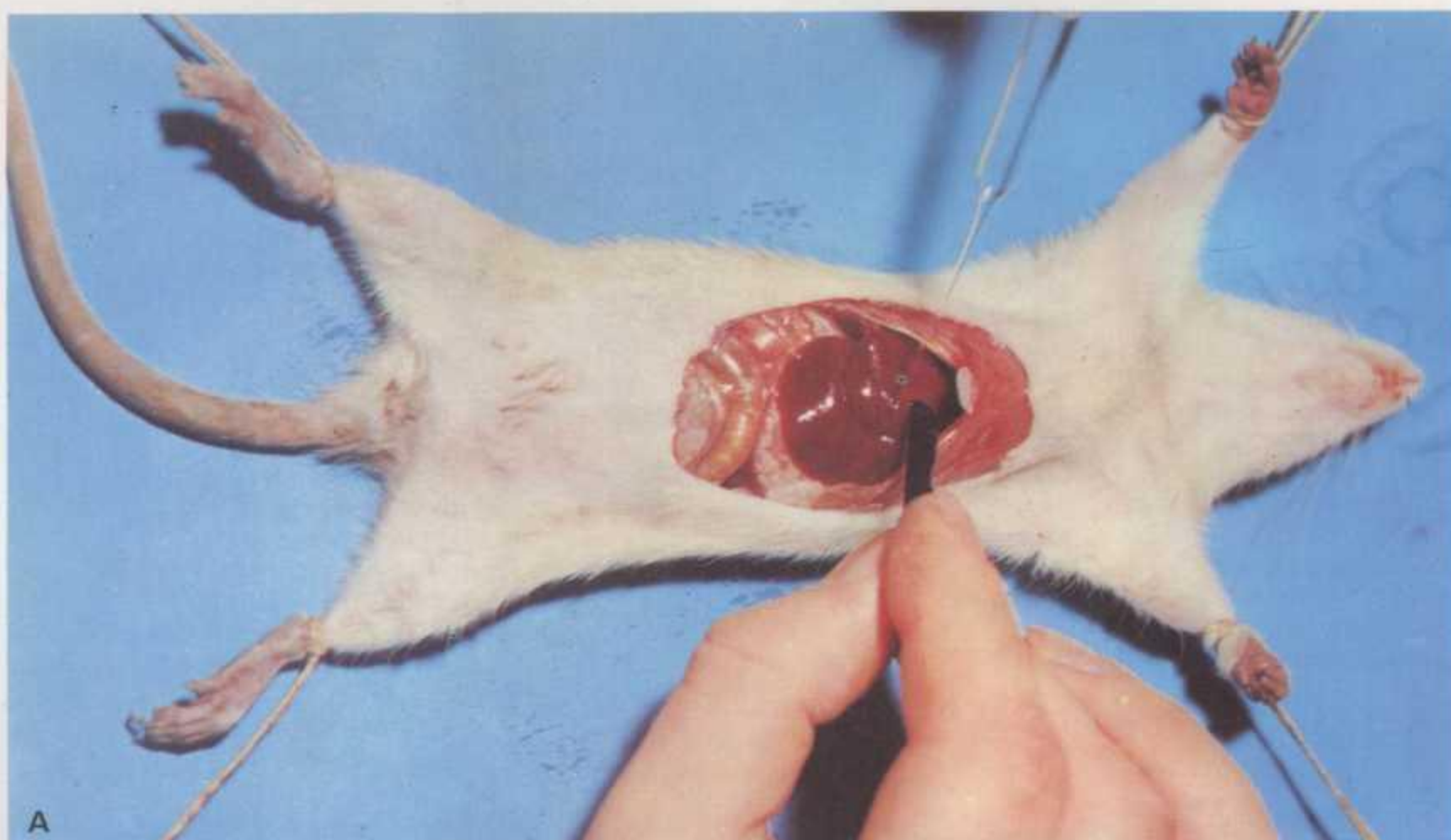
Cultivos de tejidos En los cultivos de tejidos, partículas de tejido se sumergen en unos recipientes especiales de vidrio (cultivo *in vitro*) que contienen materiales nutritivos. Estos pueden estar constituidos,

rantes que consisten en una suspensión de gránulos muy finos de carbón (tinta china) o en soluciones coloidales electro-negativas de materiales coloreados, como el Rojo Neutro o el Azul Tripan. En consecuencia, el tratamiento *in vivo* de los tejidos con estos materiales permite la tinción de algunas células, y recibe el nombre de *coloración vital*.

Otras técnicas histológicas incluyen la *autorradiografía*, en la que algunas moléculas marcadas con isótopos radiactivos producen unas imágenes fotográficas que

muestran su distribución en el organismo; y la *absorción del ultravioleta*, un método mediante el que pueden distinguirse asociaciones de grandes moléculas, como las proteínas y los ácidos nucleicos.

En la autorradiografía se utiliza con una gran frecuencia el tritio, isótopo que emi-



El estudio de los tejidos, tanto animales como vegetales, puede efectuarse en el microscopio óptico (arriba) o en el microscopio electrónico. En las

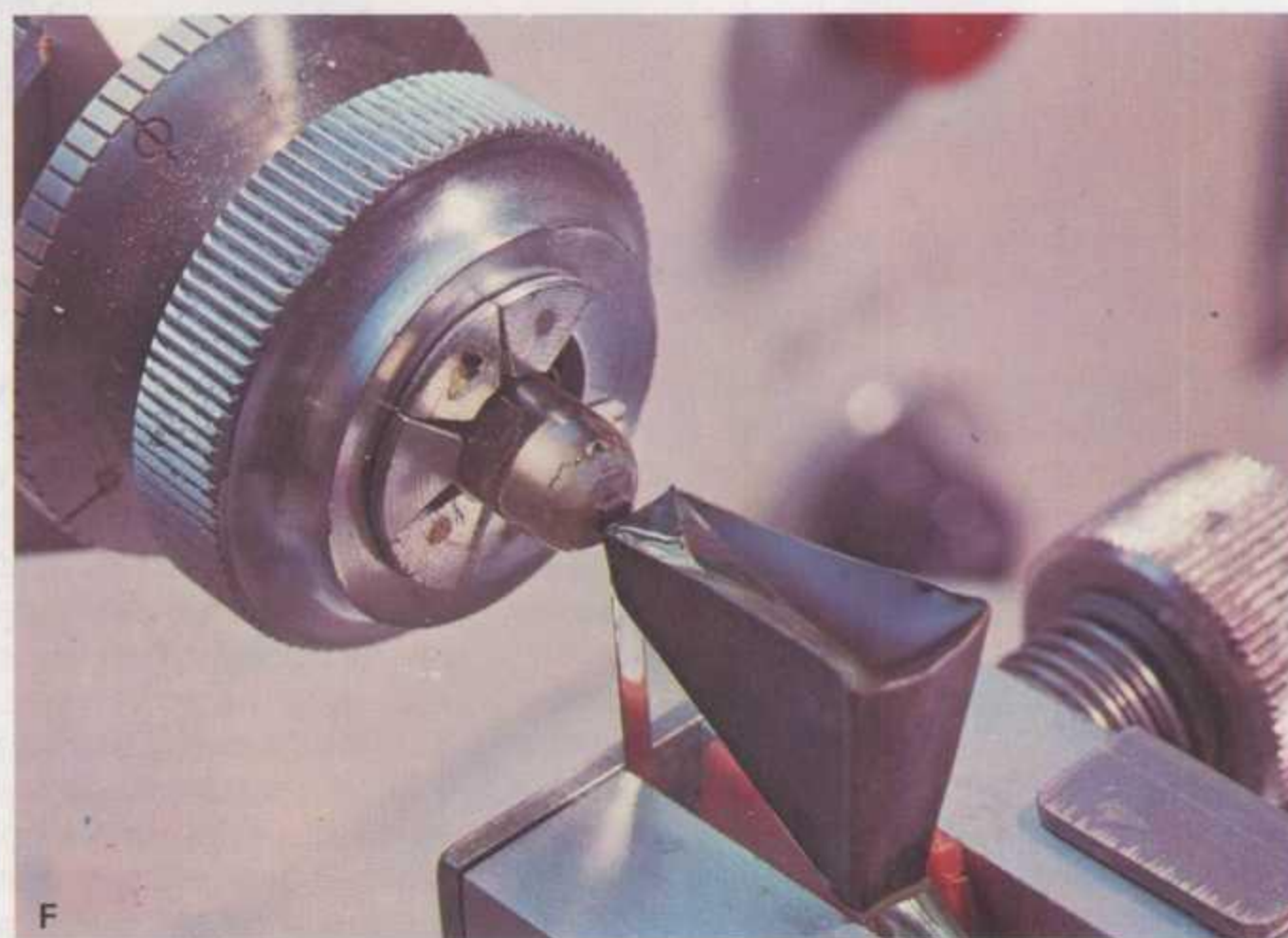
presentes imágenes se observan algunas fases de la preparación de muestras para esta segunda observación. A la toma de la muestra (A) siguen la deshidratación y

la fijación con tetróxido de osmio (B). Se coloca el tejido en un contenedor de celuloide (C), en el que se vierte una resina epoxídica. Se libera la resina del celuloide y

se labra (D) con la ayuda de un microscopio (E). Con el ultramicrotomo, en F, un detalle, se obtienen láminas muy delgadas que se extienden en las retículas

portamuestras (G). Las retículas cogidas con una pinza (H) se protegen con una delgada capa de carbono, exponiéndolas en una campana de vidrio,

bajo vacío, a los electrodos de grafito de un arco voltaico (I). Si es necesario, se refuerza el contraste impregnando la preparación con algunas gotas de





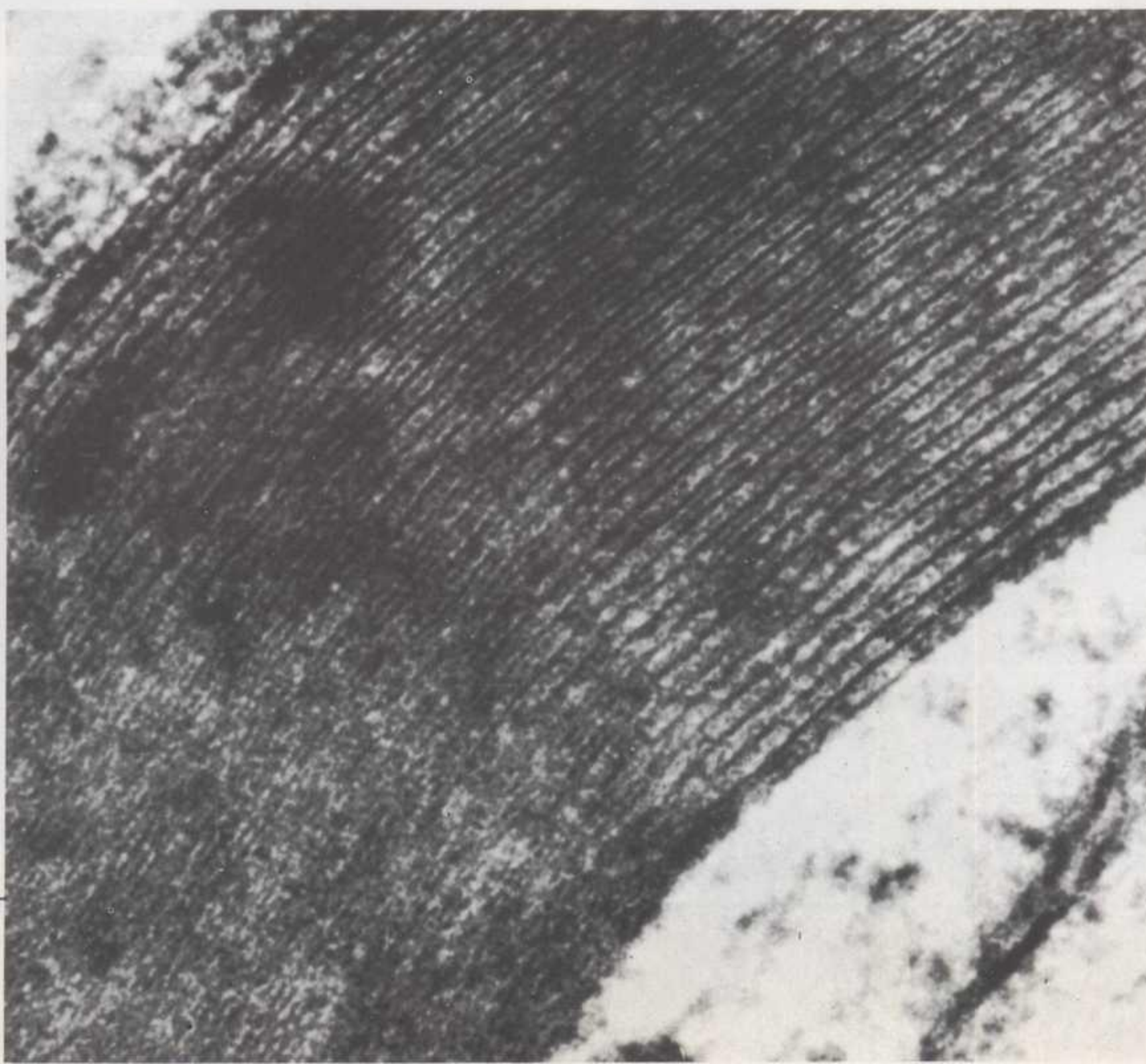
solución de sales de metales pesados (como el wolframio o el plomo) y dejándola secar (L). Las preparaciones, dispuestas para la observación, se conservan en unos estuches de vidrio (M). Aquí abajo: vaina de mielina, al microscopio electrónico.

te una radiación beta débil y que presenta un recorrido medio en la emulsión inferior al micrómetro.

Los métodos autorradiográficos realizados con sustancias marcadas con tritio han sido también aplicados con éxito a la observación efectuada con el microscopio electrónico. Por esta razón, los histólogos extienden finas emulsiones diluidas en secciones delgadas hasta conseguir un estrato constituido por una sola molécula (estrato monomolecular) de halogenuro de plata. De este modo se puede llegar a localizar las actividades presentes en las diversas estructuras celulares (polisomas, distintos componentes del nucléolo, etc.).

Recientemente se ha utilizado una nueva técnica, basada en una doble emulsión fotográfica, que permite la diferenciación entre las partículas beta emitidas por el tritio y por el ^{14}C . Es, por lo tanto, posible utilizar tanto un precursor del ADN marcado con ^3H como un precursor del ARN marcado con ese mismo isótopo, o bien una proteína marcada con ^{14}C .

Véase **Célula; Isótopos; Microscopio; Microscopio electrónico; Tejidos biológicos**



Hoja

Las hojas, con sus variados colores en las distintas épocas del año, constituyen uno de los espectáculos más fascinantes de la Naturaleza. Pero en realidad proporcionan mucho más que el simple placer estético y, a pesar de su fragilidad, se pueden considerar la plataforma en la que se funda toda la vida sobre la Tierra. En efecto, las hojas son los órganos mediante los cuales las plantas, que se encuentran en la base de todas las cadenas alimentarias, producen alimento para sí mismas y liberan oxígeno para la respiración de los animales, a la vez que absorben el dióxido de carbono.

Estructura de las hojas La hoja consta por lo general de dos partes principales: un tallo, o *pecíolo*, y una expansión llamada *limbo* o *lámina*. La superficie superior del limbo se denomina *haz*, y suele ser diferente de la superficie inferior o *envés*.

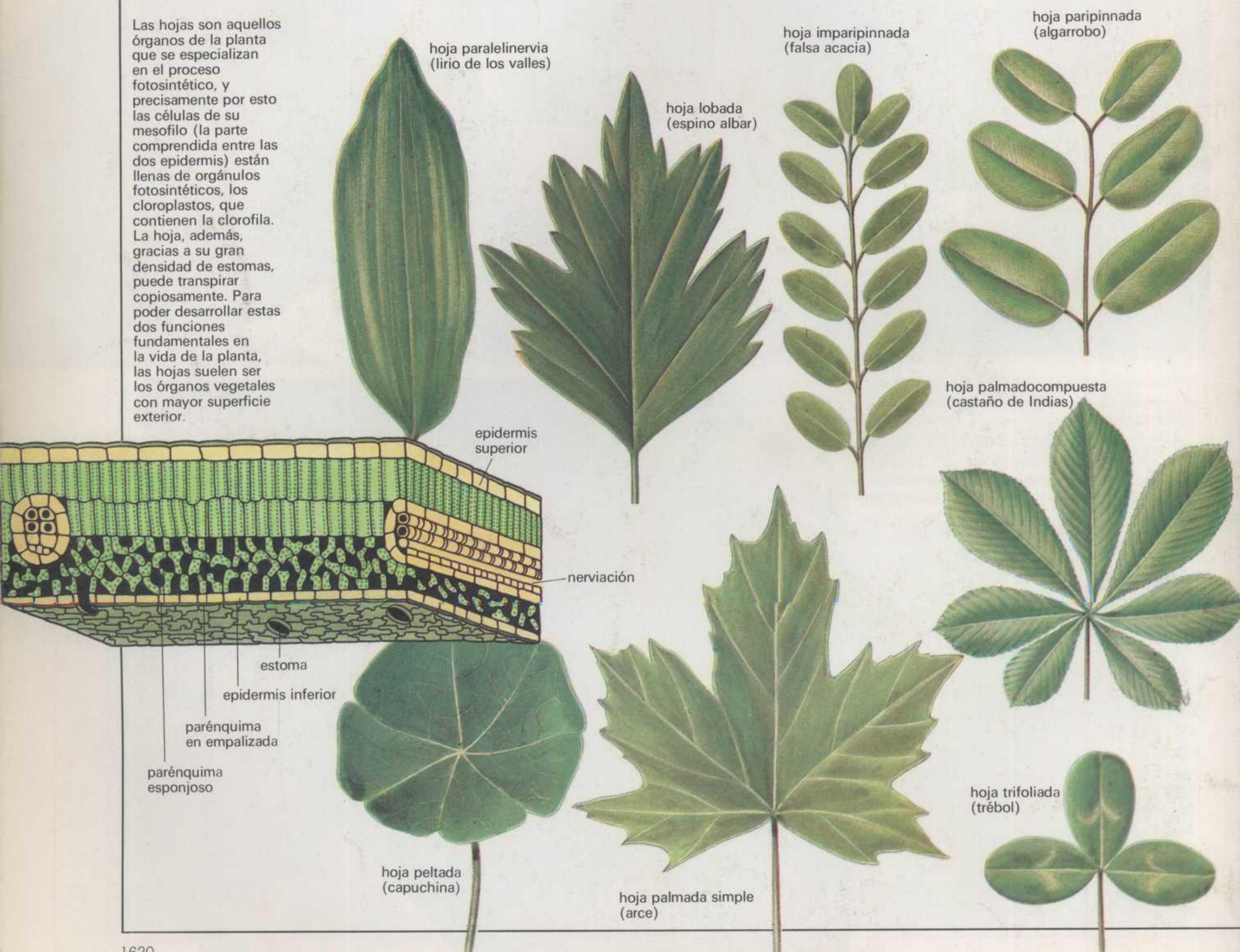
Aunque los limbos de las distintas especies son muy diferentes entre sí, tienen en su estructura analogías básicas y suelen presentar la misma disposición de las capas celulares. Las dos capas de células más superficiales constituyen la *epidermis*, que recubre el tejido interno de la planta o *mesofilo*. La epidermis posee muchas veces un revestimiento ceroso, o *cutícula*, que tiene como función principal evitar la pérdida excesiva de agua, además de proteger a la hoja de posibles lesiones mecánicas.

El tejido fundamental de la hoja, o *mesofilo*, es un *parénquima* vivo con muchos espacios intercelulares, que generalmente se encuentra especializado como tejido fotosintético en su parte superior y constituye el *parénquima en empalizada*. Debajo de éste se suele encontrar el *parénquima esponjoso*, con menos cloroplastos que el anterior y con más lagunas

intercelulares. Los *cloroplastos* son orgánulos celulares que contienen la *clorofila*, un pigmento que desempeña un papel fundamental en la transformación de energía lumínica en energía química para la producción de alimento.

La superficie epidérmica de las hojas presenta un gran número de poros llamados *estomas*, que se abren a los espacios intercelulares y al medio externo. De esta forma permiten el intercambio de gases entre el interior de la hoja y el exterior; el aire entra a través de los estomas y el dióxido de carbono que hay en él se disuelve en los líquidos celulares, contribuyendo a la formación de sustancias nutritivas. Por otra parte, los estomas regulan la transpiración de la hoja, abriéndose o cerrándose según las condiciones de humedad de la planta y del medio. El número de estomas varía, según la especie de que se trate, desde unos 1.000 a 60.000/cm².

Las hojas son aquellos órganos de la planta que se especializan en el proceso fotosintético, y precisamente por esto las células de su mesofilo (la parte comprendida entre las dos epidermis) están llenas de orgánulos fotosintéticos, los cloroplastos, que contienen la clorofila. La hoja, además, gracias a su gran densidad de estomas, puede transpirar copiosamente. Para poder desarrollar estas dos funciones fundamentales en la vida de la planta, las hojas suelen ser los órganos vegetales con mayor superficie exterior.



Pero por altas que parezcan estas cifras, los poros estomáticos son tan pequeños que, cuando están abiertos, ocupan solamente del 1 al 2% de la superficie foliar total.

Por último, todo el tejido de la hoja se halla estrechamente relacionado por medio de una red de vasos que cumple dos importantes funciones: sirve de sostén de la hoja y al mismo tiempo transporta las sustancias nutritivas. Los vasos de sostén, o vasos leñosos, que forman el llamado *xilema*, transportan el agua y las sales minerales, mientras que los vasos del líber (*floema*) distribuyen a todas las células de la planta las sustancias nutritivas sintetizadas en las hojas. La disposición de los vasos (o venas) en las hojas se denomina *venación*.

Tipos de hojas La clasificación de los tipos de hojas se hace según varios crite-

rios, como son el ápice, la base, el margen, la nerviación, etc. En principio, las hojas pueden ser *simples* o *compuestas*; una hoja simple tiene un solo limbo, mientras que en una hoja compuesta hay dos o más —los folíolos— que se unen a un eje común. Las hojas compuestas a su vez, según que los folíolos salgan de un mismo punto o de varios, se llamarán *palmado-compuestas* o *pinnado-compuestas* respectivamente, y dentro de estas últimas, *paripinnadas* si el número de folíolos es par e *imparipinnadas* si es impar.

Otro criterio de diferenciación es el margen foliar, que puede ser liso o presentar dientes u ondulaciones. Así, las hojas pueden ser *dentadas*, *aserradas*, *festoneadas*, *lobadas*, etcétera.

La base de la hoja también es un carácter distintivo de la misma, pudiendo tener forma de riñón (base *reniforme*), corazón (*cordada*), etcétera.

Según el contorno del limbo, la hoja será *lanceolada* (si tiene forma de lanza), *ovada* (si es de elipse), *espatulada*, *acicular*, etcétera.

Modificaciones de las hojas Las hojas pueden modificarse para adaptarse al medio. Como adaptación a la sequía, las hojas engrosan sus tejidos, llenándolos de agua y otras sustancias de reserva. Otras plantas, en cambio, se adaptan a las condiciones extremas de frío o calor reduciendo su superficie al máximo, con objeto de que la transpiración sea la menor posible. Tal es el caso de los cactus, que transforman sus hojas en espinas a la vez que engrosan los tallos, defendiéndolos de los animales herbívoros mediante las mismas.

Véase **Arbol; Clorofila; Fotosíntesis**



La hoja puede tener otras funciones, como por ejemplo la absorción de agua del exterior o la acumulación de sustancias de reserva. La forma de las hojas es de lo más variada, y muchas veces tan característica que por sí sola permite identificar la especie. Junto a estas líneas se representan las hojas de distintos árboles, arbustos o plantas herbáceas cuya denominación se debe a las particularidades de la lámina foliar, los nervios, el borde, etc. En la página anterior vemos un dibujo esquemático y simplificado de un fragmento de hoja muy aumentado, en el que se advierten los distintos tejidos.

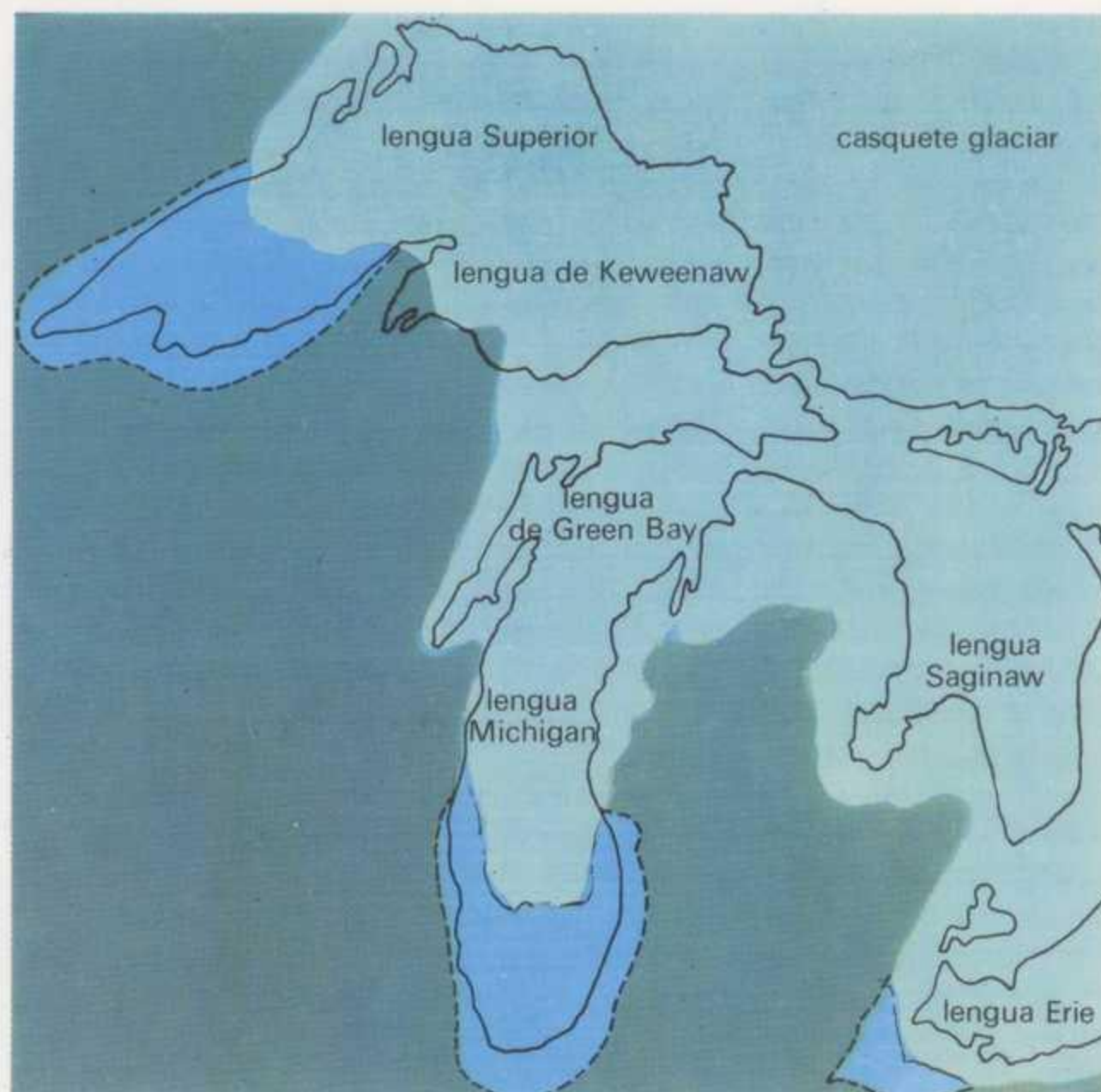
Holoceno

El término *Holoceno* designa la parte más reciente del Cuaternario. Hoy día se emplean con carácter equivalente otras denominaciones, como la de Cuaternario "actual", "reciente" o "postwürmiense", y abarca desde la retirada de los hielos de la última glaciación pleistocena —hace unos 10.000 años— hasta nuestros días. En el transcurso de este período geológico tiene lugar la evolución de los homínidos, grupo que aparece en el Pleistoceno inferior y que ha dado lugar al hombre actual, el *Homo sapiens sapiens*.

Igualmente hay que destacar en este período la acción modificadora del hombre sobre el ambiente que le rodea, así como la extinción de mamíferos y otros animales de las épocas glaciares

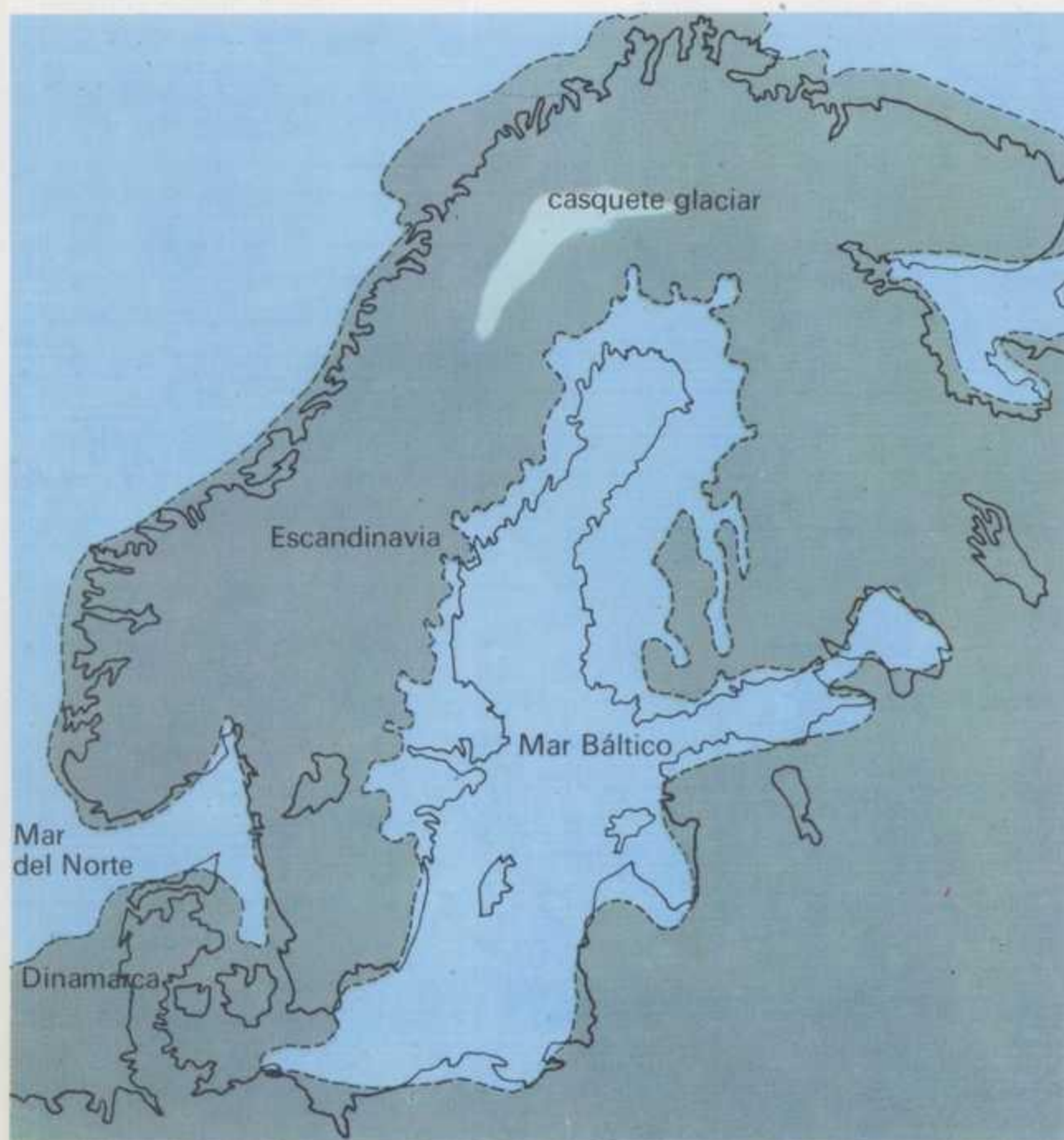
Cambios acaecidos en el Holoceno La retirada del hielo después de la última glaciación implicó diversas variaciones climáticas que señalaron el comienzo del Holoceno. Mientras que al final del Pleistoceno la mayor parte de las aguas se encontraba bajo la forma de hielo, constituyendo los grandes casquetes glaciares, en el Holoceno se generaban los períodos de intensa pluviosidad, temperaturas más altas y fuerte turbulencia atmosférica. Esto produjo elevaciones muy notables de los niveles del agua en mares y lagos.

Las épocas pluviales también se manifestaron en una notable elevación del nivel de los ríos: así, el Nilo, el Senegal y el Níger, en el norte de África, se vieron muy afectados por crecidas periódicas, originando grandes desbordamientos en las llanuras de inundación de los mismos. Muchos ríos del mundo aumentaron su caudal tras la última glaciación y con ello su



La parte meridional del gran casquete polar norteamericano terminaba en cuatro o cinco prolongaciones en forma de lengua. Estas tenían un enorme espesor y avanzaban con relativa rapidez. Este movimiento de avance produjo un modelado glaciar en el extremo subyacente, como resultado del cual se formaron los actuales Grandes Lagos. Vemos a la izquierda un esquema que representa la extensión del casquete glaciar y las lenguas glaciares. El estudio de los depósitos morrénicos ha permitido deducir la extensión de la parte meridional del casquete glaciar y relacionarlo geográficamente con la formación de los Grandes Lagos.

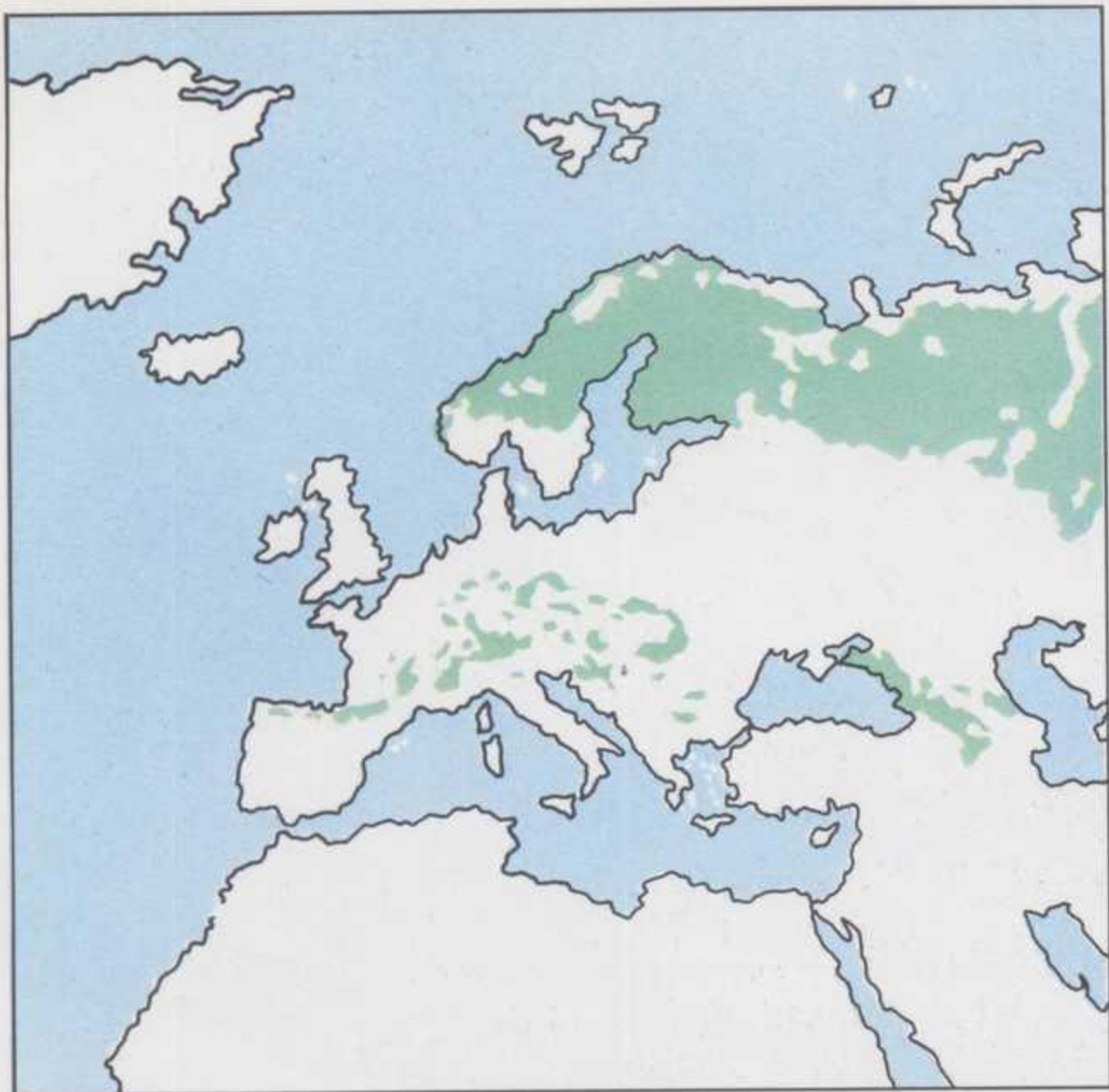
A la derecha, la península italiana al principio del Cuaternario. Los numerosos ríos arrastraban gran cantidad de sedimentos durante el deshielo. La red fluvial desembocaba en el Mar Adriático, lejos de la actual línea de costa. Es interesante destacar que la desembocadura del río Po se encontraba al sur de Ancona.



La zona de glaciaciones correspondiente al norte de Europa reviste una gran importancia, debido a la enorme extensión que ocupó. Al retirarse el casquete glaciar durante el deshielo, se inicia un lento y progresivo movimiento ascendente de los países escandinavos, que emergen del mar. En el mapa de la izquierda, las líneas discontinuas trazan el

capacidad erosiva, transportando gran cantidad de materiales hacia las tierras bajas donde dieron lugar a extensas áreas de sedimentos aluviales tanto en las llanuras continentales como, en forma de deltas, en las desembocaduras al mar.

Debe señalarse que este fenómeno no es privativo del Holoceno, ya que tuvo lugar también anteriormente durante los períodos interglaciales del Pleistoceno. Asimismo, al igual que en ellos, el aumento de las temperaturas y la consiguiente retirada de los hielos produjeron significativos cambios en la distribución de la flora.



A la izquierda, distribución actual de los bosques más importantes de Europa, herederos de la rica vegetación holocena. Durante este período ha tenido lugar la desaparición de algunas especies típicas de clima frío y la aparición de otras propias de climas más cálidos. Esto refleja el suavizamiento progresivo del clima a partir de la última glaciación (Würm).

En general, en los períodos fríos predomina la tundra, con praderas de plantas herbáceas. En los períodos cálidos interglaciales y en el Holoceno este tipo de vegetación se desplaza hacia las altas latitudes, de clima más frío.

En latitudes medias aparecen sucesivamente nuevas formas de vegetación: a los bosques de abedules suceden los bosques de coníferas, y a éstos los bosques de composición mixta, que persisten en la actualidad. Las variaciones climáticas también fueron responsables de que se produjera la desertización casi total de zonas

→ perfil de los países escandinavos hace unos 7.000 años. El Mar Báltico se encontraba totalmente aislado del Mar del Norte, pues un puente de tierra unía Dinamarca con Escandinavia.

A pesar de existir una estabilización climática general durante el Holoceno, parecida a la de la actualidad, también alternaban subperíodos cálidos y fríos, que se reflejaban en variaciones en la

vegetación: los bosques de abetos (a la derecha) son más típicos de climas fríos, mientras que los bosques de pinos (representados abajo) corresponden a climas más cálidos.



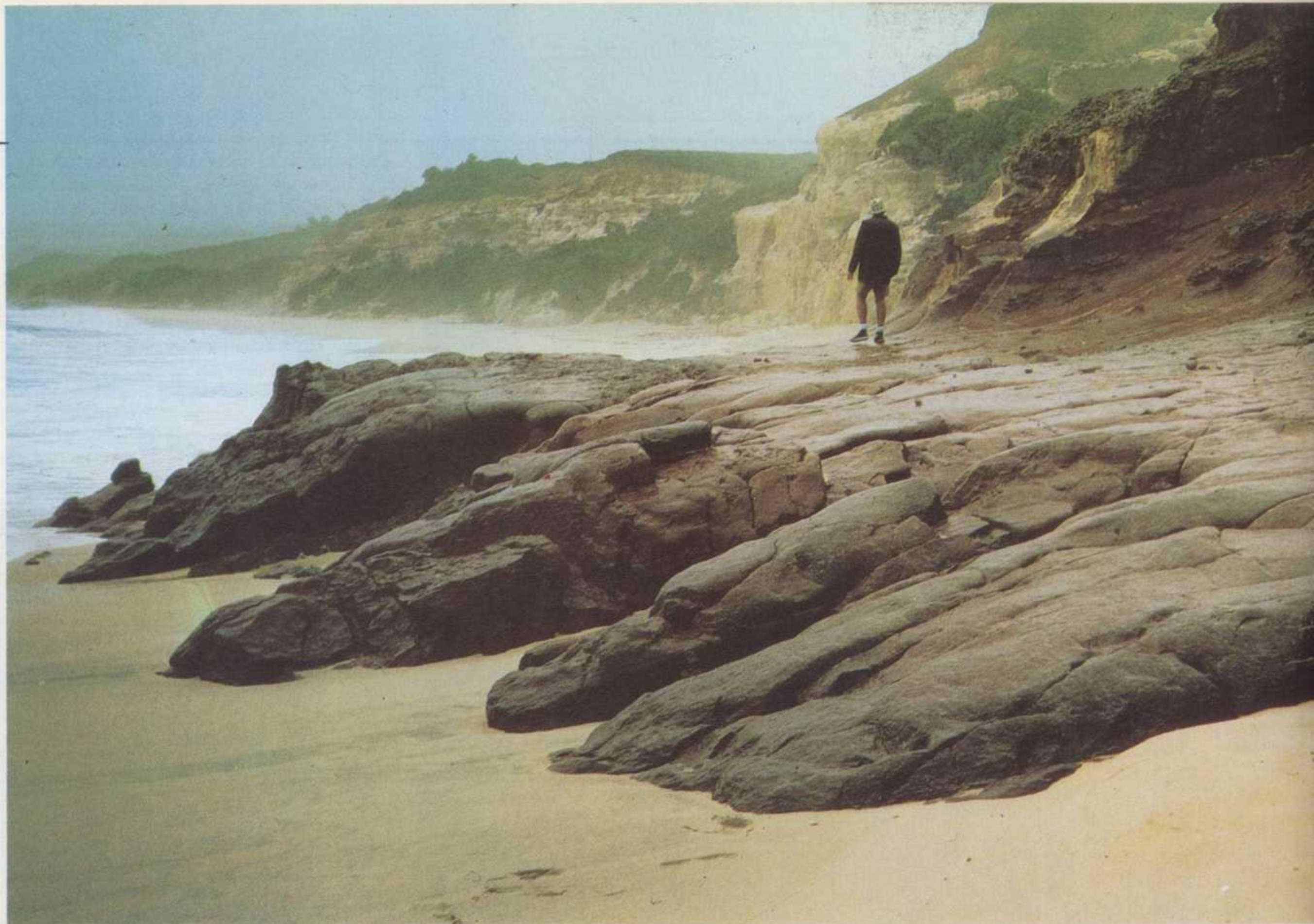
que durante el Pleistoceno estaban cubiertas de vegetación.

Para el estudio del Holoceno tienen especial importancia los métodos de datación absoluta, que permiten conocer con gran aproximación la fecha en que tuvieron lugar determinados acontecimientos geomorfológicos o estructurales.

Uno de los métodos más empleados es el del carbono 14 (^{14}C), isótopo radiactivo del carbono, cuya desintegración, que se realiza a ritmo constante, proporciona un criterio de gran precisión para determinar la edad de cualquier residuo orgánico.

Otro método de datación está basado en el estudio de los depósitos anuales producidos por el deshielo en los lagos periglaciares, y que reciben el nombre de *varvas*. Asimismo, la presencia de cenizas volcánicas en los sedimentos de puntos muy dispares del mundo, debidas a grandes erupciones volcánicas de edad conocida, resulta sumamente útil para el conocimiento cronológico del área en que se encuentran.

La Palinología, que se ocupa del estudio de los granos de polen, y la Dendro-



El inicio del Holoceno se sitúa hace unos 10.000 años, momento en el que el mar se encontraba unos 35 ó

40 metros por debajo del nivel actual. A partir de entonces, el nivel marino ha ido subiendo

progresivamente con fluctuaciones hasta alcanzar, hace unos 6.000 años, el nivel actual. En estos

últimos milenios las fluctuaciones continuaron, siendo de pequeña magnitud. En la página siguiente,

la figura de abajo, a la izquierda, ilustra el efecto de la fusión de los hielos sobre el nivel del mar. Se trata

de una columna estratigráfica en cuya base hay una morrena de fondo sobre la que descansan estratos de

cronología, basada en el estudio de los anillos de crecimiento anual del tronco de los árboles, son dos importantes métodos de datación de los correspondientes materiales biológicos.

El Holoceno es, por lo tanto, una época para la que es relativamente fácil el estudio de las oscilaciones climáticas y sus efectos, así como el de las variaciones en las redes hidrográficas. Esto se debe a la posibilidad excepcional de emplear conjuntamente diferentes métodos de datación, junto con datos procedentes de la investigación arqueológica y, en algunos casos, la existencia de registro escrito.

Por el contrario, para los tiempos geológicos más antiguos los métodos de que se dispone sólo permiten conocer los cambios producidos en períodos largos.

La vida durante el Holoceno La fauna existente durante este período hasta la actualidad presenta notables diferencias con la que poblaba la Tierra en el Pleistoceno. Los grandes mamíferos son los representantes más característicos de la fauna pleistocena, período en el que alcanzan gran variedad y tamaño. Cabe destacar el "tigre sable" (género *Machairodus*), que se caracterizaba por poseer enormes caninos. Otras formas arcaicas que evolucionaron en el transcurso del Pleistoceno fueron algunos félidos, como el "león de las

cavernas", úrsidos, como el "oso de las cavernas" (género *Ursus*), y los conocidos "Mamuts", cuyo representante más famoso fue el *Elephas primigenius*, contemporáneo del hombre. También eran característicos los rinocerontes lanudos, diversos bóvidos —algunos de enormes dimensiones— y numerosas subespecies de los primeros caballos, también contemporáneos del hombre.

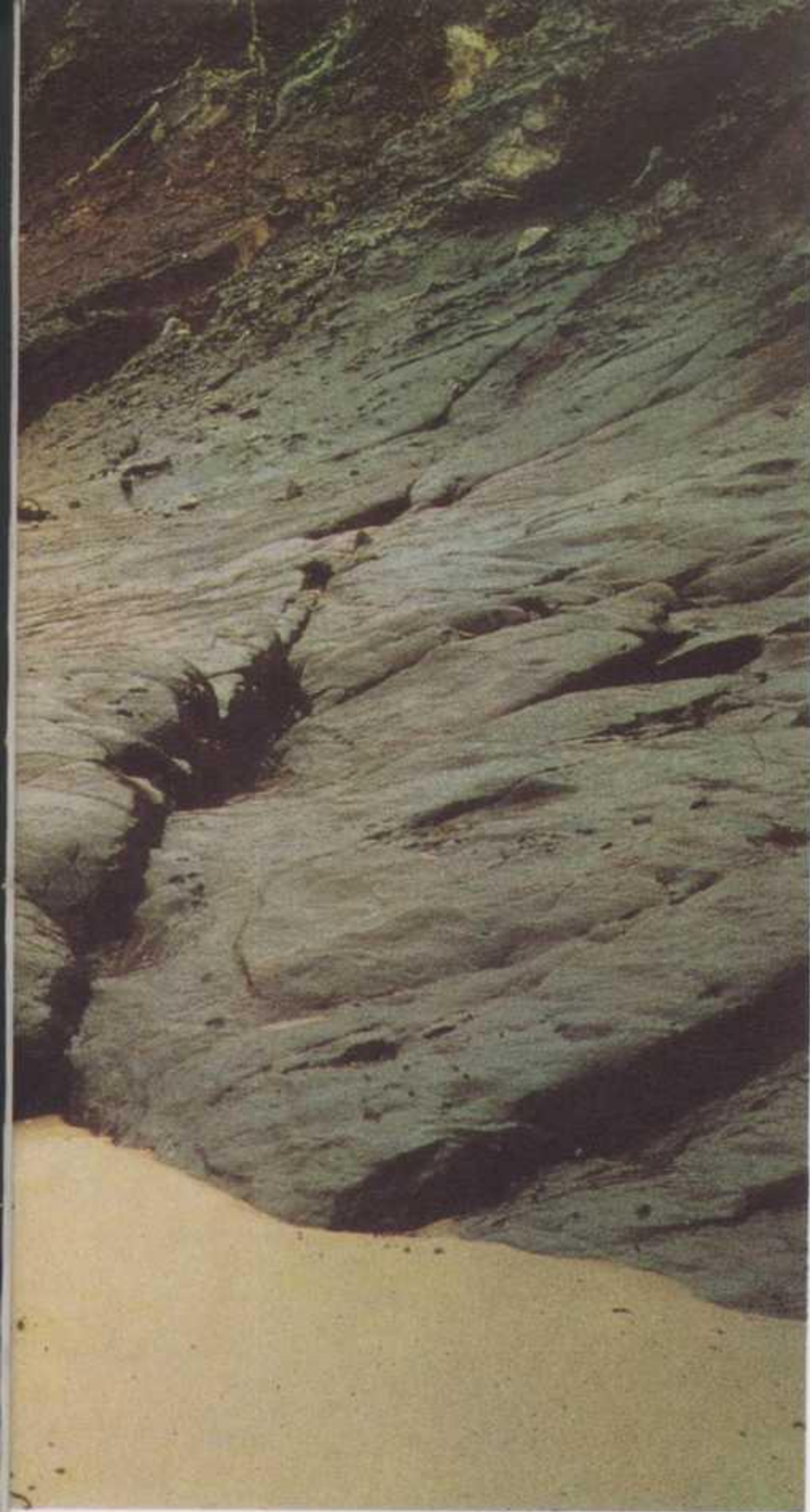
El tránsito al Holoceno se caracteriza por la brusca extinción de la mayoría de esos grandes mamíferos. Varias hipótesis tratan de explicar este extraño fenómeno. Según algunos, sería lógico pensar que los bruscos cambios climáticos y de vegetación provocaron la desaparición de especies que no fueron capaces de adaptarse a las nuevas condiciones del Cuaternario reciente. Otras hipótesis sugieren que quizá las actividades de caza de los humanos contemporáneos sobre aquellas especies pudieron facilitar en cierta medida su extinción.

En América septentrional tuvo lugar una rápida extinción de aproximadamente un 70% de los grandes mamíferos. Se supone que esta fauna había emigrado hacia América desde el continente Euroasiático a través del estrecho de Bering (que por entonces aún no se había abierto). La emigración habría ocurrido hacia finales del Pleistoceno. Parece ser que la fauna

no se adaptó a las nuevas condiciones, enfrentándose a una presión ecológica insuperable, debida quizás a la presencia de predadores carnívoros y a la actividad del hombre. Esto parece corroborado por el hecho probado de que en América meridional la desaparición de los megaterios (grandes mamíferos desdentados) y de ciertas especies de caballos coincide con el establecimiento —y lenta difusión— de grupos humanos.

En el caso de la fauna insular, la extinción de las especies mencionadas ocurrió asimismo contemporáneamente con la aparición del hombre. En Australia, más del 30% de los grandes marsupiales desapareció con la llegada del hombre a este continente. En Nueva Zelanda, la abundante fauna de aves, incluyendo las 22 especies del gigantesco Moa (ave de unos 3 metros de altura y completamente desprovista de alas), fue diezmada con la aparición del *Homo sapiens*. En el año 1600, cuando los primeros hombres occidentales exploraron la isla, ya no existía ningún Moa, al igual que había ocurrido con otras especies extinguidas también parcial o totalmente. Algo similar a lo anterior ocurrió con la fauna de lemúridos de Madagascar.

Véase Cuaternario; Datación por carbono 14; Deriva continental; Geología; Geomorfología



Rhodes W. Frairbridge



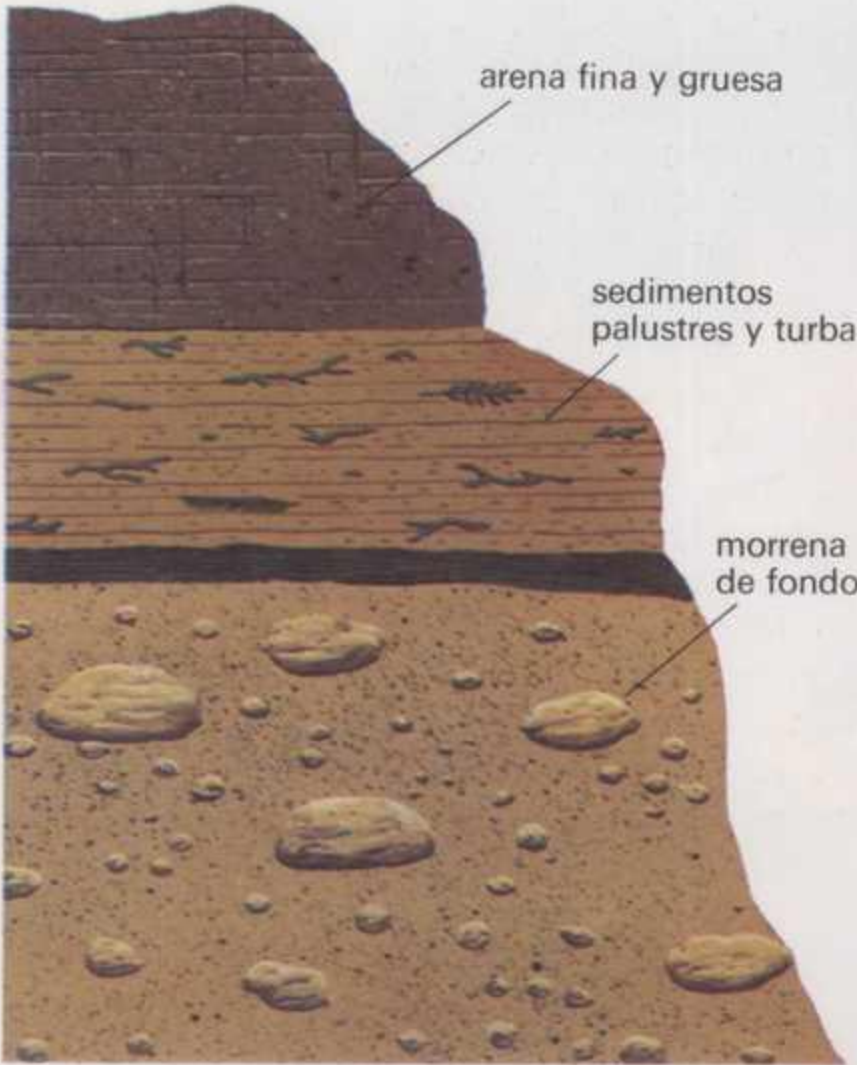
Lino Pellegrini

→ restos vegetales continentales, y sobre éstos, estratos de arena fina y gruesa de origen marino, lo que indica un avance del mar sobre el continente. En la foto superior puede verse una formación litoral holocena emergida y colgada sobre la costa australiana. En esta misma página, una serie de pinturas rupestres: escenas de caza, avestruces, jirafas, un guepardo y

un elefante, encontrados en el oasis de Badai, en el Chad. Se trata de animales que habitaban en el Sahara hace unos 6.000 ó 7.000 años, cuando éste constituía un hábitat rico en agua y vegetación. Parece posible que el Sahara haya sido la cuna de los primeros homínidos. Los animales representados son típicos de la fauna tropical.



Luigi Pastores



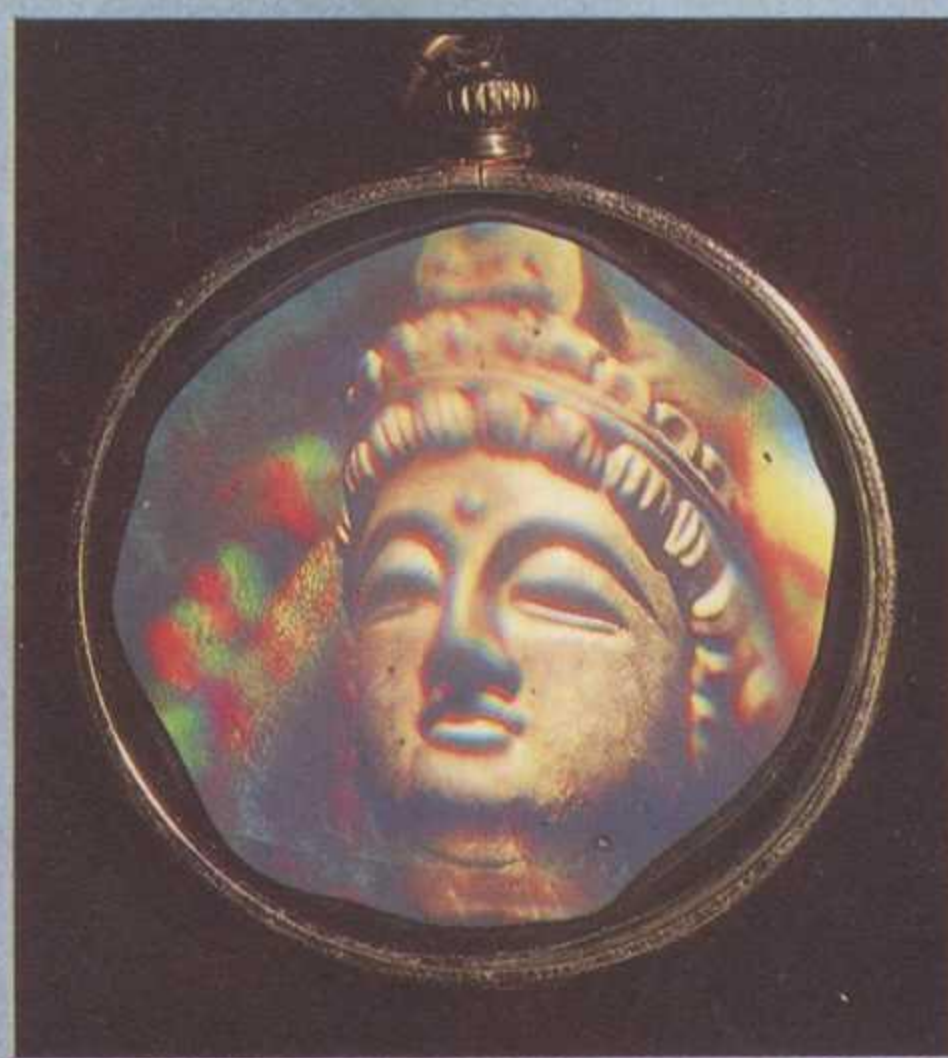
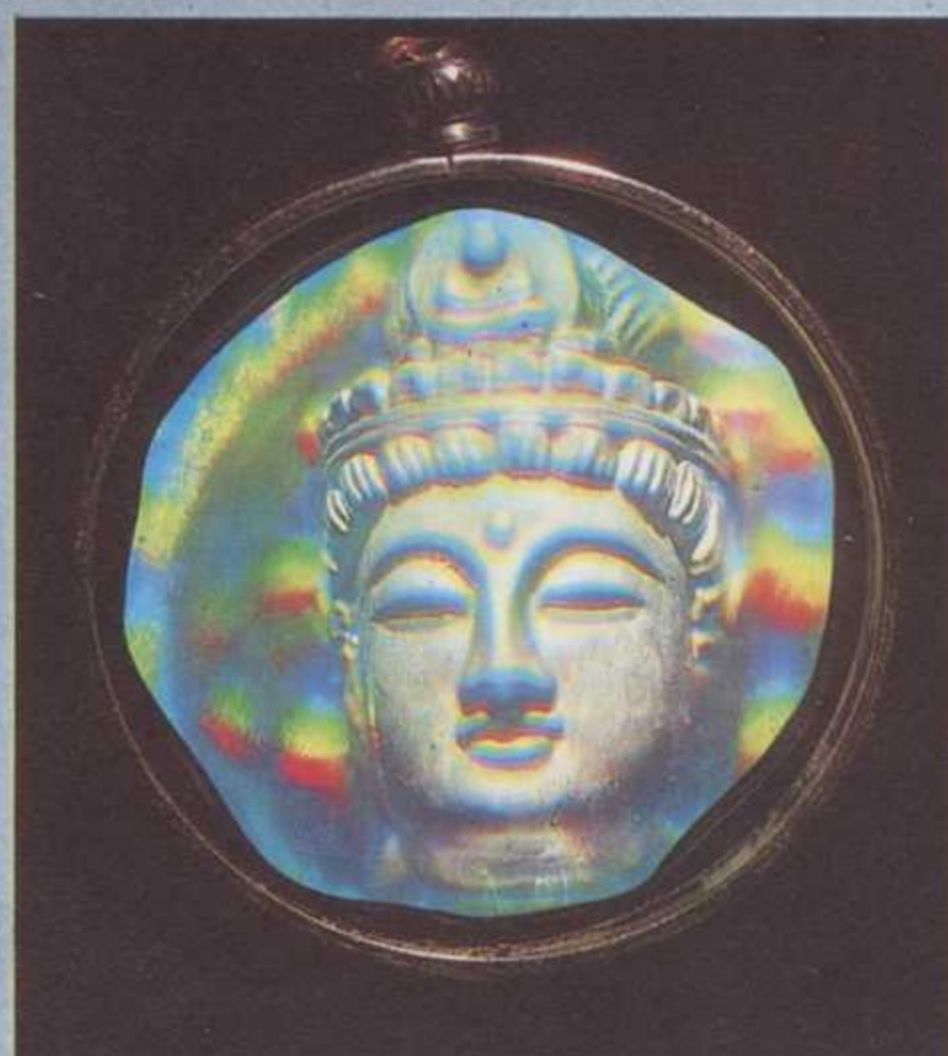
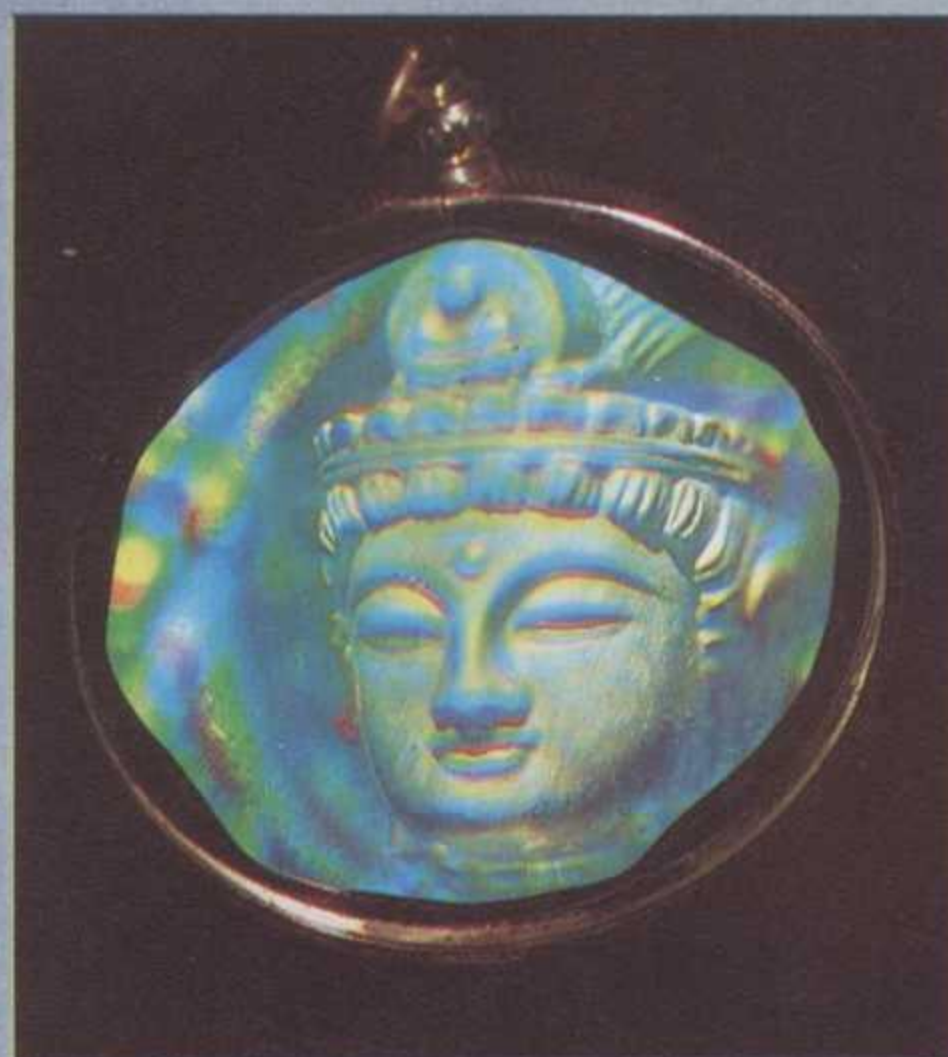
Holografía

Al observar una reproducción sin iluminar en una exposición de imágenes holográficas, lo más probable es ver simplemente una pantalla de plástico o una caja que aparentemente no tienen nada. Sin embargo, con la iluminación adecuada, al mirar a la pantalla se podrá observar una imagen tan real (tridimensional) y tan etérea (su superficie es brillante y granulosa) que uno cree estar ante un fantasma. Se trata de un *holograma* (del griego *holos*, "completo", y *gramma*, "mensaje"), es decir, de una reconstrucción no del propio objeto, sino de la información contenida en las ondas de luz que refleja o que se propagan a partir de él. El holograma es el resultado de una técnica llamada *holografía*.

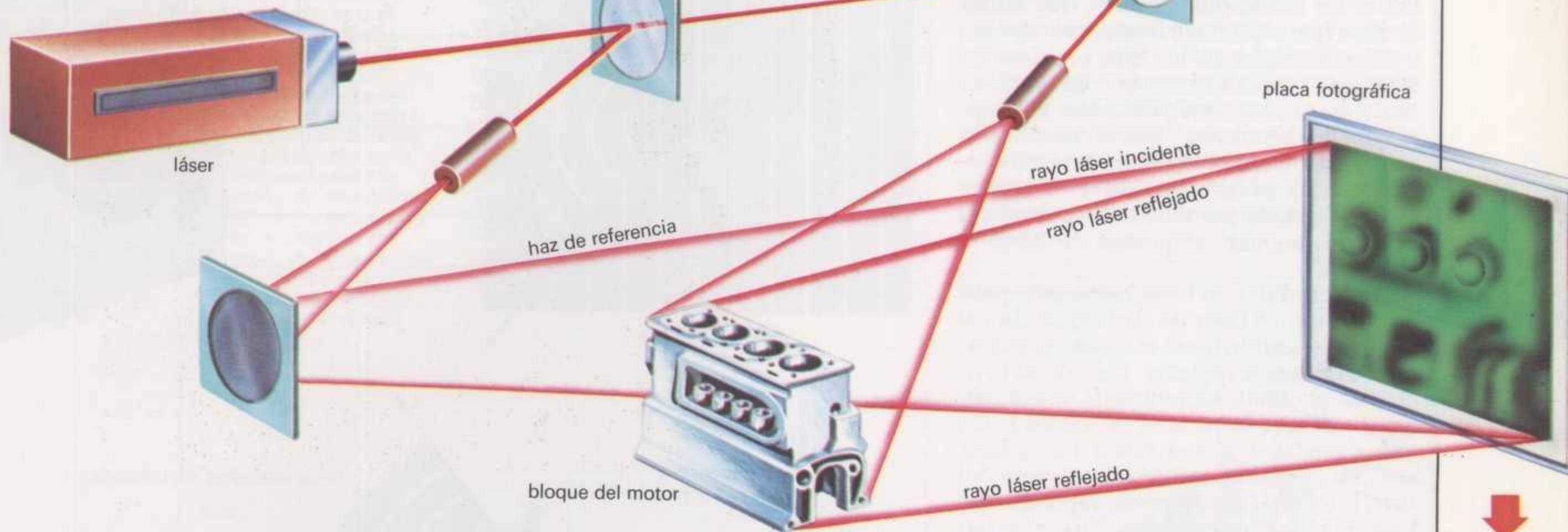
Los principios de la holografía La holografía es posible gracias al fenómeno de interferencia de las ondas de luz. La luz está formada por una serie de ondas, y, en concreto, la luz láser —que se utiliza en la obtención de la mayor parte de los hologramas— está formada fundamentalmente por una longitud de onda única (por este motivo no se puede separar en distintos colores y se llama *monocromática*). Esta luz abandona la fuente láser en forma de un haz altamente direccional, motivo por el que recibe el nombre de *luz coherente*. Cuando se encuentran los frentes de onda de dos haces coherentes, es decir, cuando cortan la misma superficie al mismo tiempo, se dice que interfieren. En la zona del espacio donde se produce la interferencia se crea una configuración de zonas luminosas y zonas oscuras, llamadas *franja de interferencia*. Cuando los haces luminosos están en fase, se refuerzan mutuamente produciendo una franja luminosa, mientras que si no lo están producen franjas oscuras al anularse entre sí. El holograma es el registro de esta configuración de franjas.

Una de las técnicas holográficas más ampliamente usada fue desarrollada en 1962 por los investigadores estadounidenses E. N. Leith y J. Upatnieks. Consiste en un procedimiento constituido por dos fases: en la primera, se registran las franjas de interferencia sobre una placa fotográfica, y en la segunda, se realiza la reconstrucción de la imagen, de forma que se puede ver una imagen tridimensional de los frentes de onda del objeto; es decir, un holograma.

Por ejemplo, si se quiere realizar el holograma de una manzana, habrá que asegurarse primero de que está totalmente fija y después enfocar hacia ella un haz láser. El haz de luz coherente se divide en dos haces en un dispositivo llamado *divisor de haz*. Uno de los dos haces (llamado *haz objeto*) viaja directamente hacia la manzana, que refleja este frente de onda hacia una placa fotográfica correctamente situada. El otro haz (llamado *haz de referencia*), una vez separado del haz objeto, se dirige hacia un espejo, que lo refleja de forma que llegue a la placa fotográfica, pero con un ángulo distinto que el haz ob-



Las tres fotografías de la página anterior reproducen un holograma fotografiado desde tres posiciones



distintas: desde arriba, de frente y desde abajo. Como puede apreciarse, aunque esté registrado sobre una placa bidimensional, un holograma tiene toda la información de las tres dimensiones del objeto original: la placa iluminada con luz láser, al fotografiarla desde distintos puntos, presenta imágenes distintas, como si se tratase del objeto real.

Además, cada una de las zonas de la pantalla, por pequeña que sea, tiene toda la información relativa al objeto. A partir de cada una de estas zonas se puede reconstruir completamente el original, aunque se obtiene una imagen de calidad inferior al original. La holografía es una técnica muy valiosa para el estudio de los distintos tipos de estructuras: motores

(en esta página, arriba), estatuas, puentes y construcciones en general (a la derecha y abajo). Una mínima variación debida a una fuerza, al calor o a las tensiones es suficiente para que el holograma la registre con la máxima precisión, sin que sea necesario alterar la estructura del objeto. El procedimiento ilustrado arriba se utiliza para la

obtención de una imagen holográfica cualquiera. El holograma registra la configuración de las franjas de interferencia producidas al encontrarse dos haces de luz láser. Con luz normal, el holograma no parece tener semejanza con el objeto de partida: debe observarse iluminado con luz láser para que pueda dar una reconstrucción del objeto.

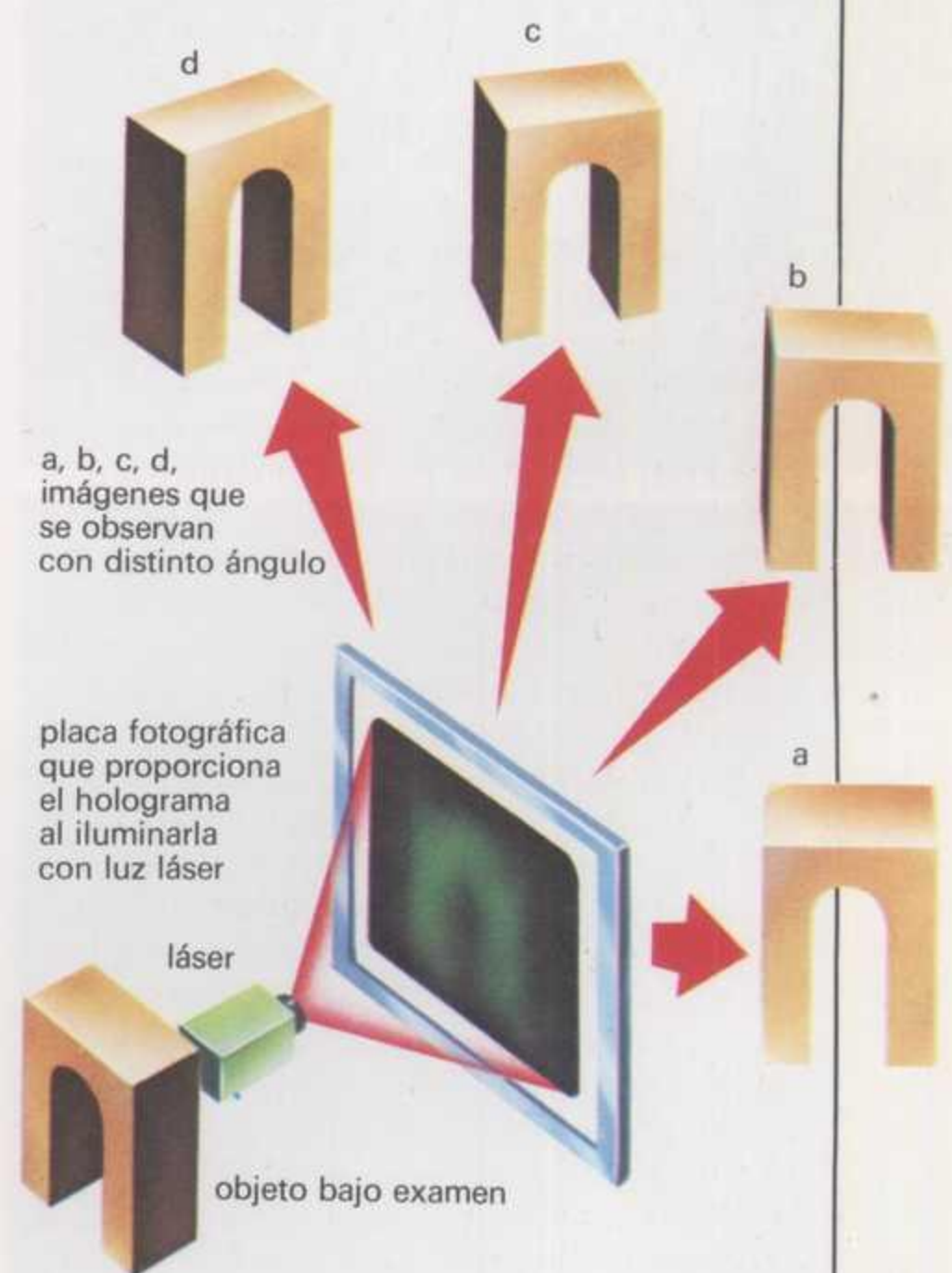


jeto. En la placa quedan registradas las franjas de interferencia producidas por la superposición de los dos haces. Todo ello sucede en los pocos segundos que dura la exposición de la placa fotográfica. La segunda fase empieza con el revelado de la placa, que se hace prácticamente con las mismas técnicas empleadas para las películas fotográficas normales: por inmersión en líquidos de revelado y fijación. Después de revelada la placa, se ilumina con un haz láser directo, como el haz de referencia: al mirar a través de la placa revelada se verá una imagen tridimensional de la manzana.

Aplicaciones de la holografía El holograma es una ayuda importante en técnicas de medida (aplicación denominada *interferometría holográfica*) porque permite detectar modificaciones en las figuras de interferencia inferiores a 315×10^{-9} m. Por ejemplo, se hace un holograma de un neumático de automóvil, después se aplica un sistema de fuerzas al neumático y, mientras está vibrando, se hace otro holograma sobre el anterior, dando lugar a franjas de interferencia. De esta forma los ingenieros pueden determinar la resistencia a los esfuerzos en base al comporta-

miento de los frentes de onda, sin someter al neumático a pruebas destructivas. La interferometría holográfica se puede utilizar no sólo en los neumáticos, sino también en ventiladores, altavoces, piezas de aviones e instrumentos musicales, es decir, en todo aquello que produce o experimenta vibraciones durante su funcionamiento. La holografía se puede aplicar también al estudio de la distribución de calor en elementos de fisión utilizados en centrales nucleares y para determinar la presencia de formas de vida microscópicas. En este último caso se han realizado hologramas de agua de mar para estudiar el plancton que contiene. También se han hecho hologramas de cristales crecidos en tres dimensiones, registrando su velocidad de crecimiento con una precisión de media longitud de onda.

Algunos museos están experimentando la holografía como medio para poder exponer copias holográficas de obras y trabajos demasiado frágiles y valiosos que se podrían deteriorar con la exposición directa al público.



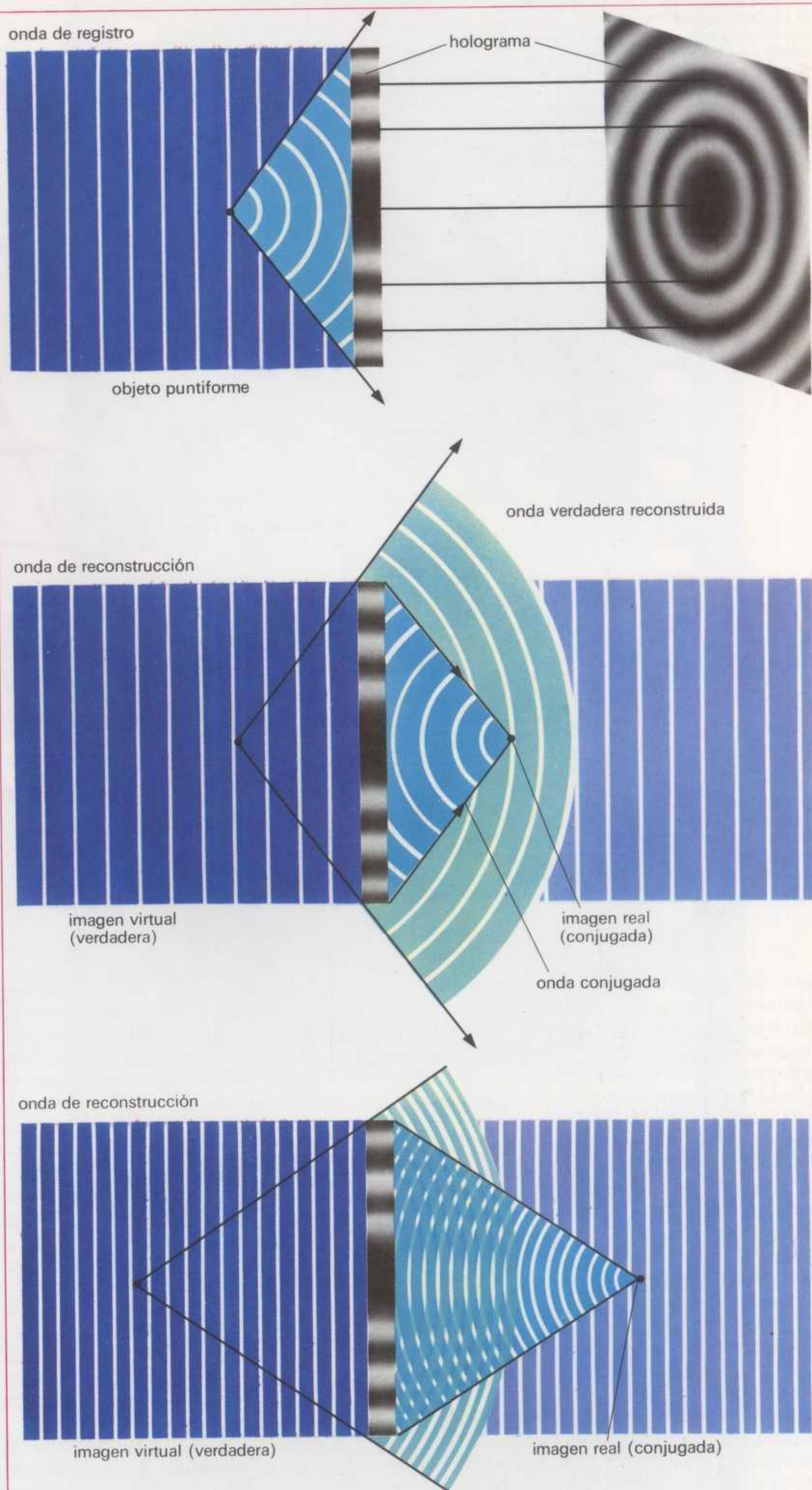
Véase **Holografía acústica; Láser**

Holografía acústica

En el año 1960, con la realización del primer láser, empezó el desarrollo de campos completamente nuevos dentro de la Óptica y la Electrónica. Uno de ellos fue el de la holografía óptica, que utiliza el láser para producir imágenes ópticas tridimensionales. La luz que produce un láser es monocromática y coherente, es decir, está compuesta por ondas de longitud única y siempre en fase entre ellas (en cualquier caso, con una estructura muy organizada), y se distingue de la luz blanca normal formada por un conjunto sin organizar de muchas longitudes de onda, o colores.

Para producir un holograma, se separa un rayo de luz láser en dos rayos, de los que uno se dirige hacia el objeto cuya forma se pretende registrar. Cuando el rayo alcanza el objeto, experimenta una difracción, y el rayo difractado se enfoca hacia una pantalla o a una placa fotográfica, adonde se envía también la otra parte del rayo original. Este segundo rayo, que no ha experimentado ninguna difracción, recibe el nombre de *haz de referencia*. El haz difractado y el de referencia se mezclan, es decir, interfieren en la superficie de la placa fotosensible y producen una serie de franjas de interferencia con zonas claras y oscuras. Esta imagen, que no se puede ver con luz normal, es el holograma. Cuando se hace que lo atraviese un rayo láser igual al de referencia, se reconstruye la imagen tridimensional del objeto, que se puede observar directamente.

La analogía acústica Los científicos han descubierto que las ondas acústicas se pueden utilizar también, igual que la radiación luminosa, para producir una representación visual de un objeto o de una serie de objetos. En realidad, la *holografía acústica* presenta algunas ventajas tecnológicas, porque las ondas acústicas se propagan por algunos medios opacos que la radiación luminosa no puede atravesar. Con la holografía acústica se obtiene una especie de "sonar" tridimensional, con la única diferencia de que las ondas reflejadas no las recibe un oyente, sino un aparato receptor (al igual que los rayos luminosos de la holografía óptica, que se registran sobre una placa sensible). Inmediatamente surge la pregunta: ¿se pueden registrar fotográficamente las ondas acústicas? La respuesta es sí. Una de las primeras técnicas que se utilizaron con este fin consiste en sumergir la placa fotográfica en un baño fijador. Cuando se expone la solución líquida del baño a las ondas acústicas difractadas en algún objeto (u *ondas imagen* del objeto), las vibraciones que producen ayudan a que reaccione el fijador, con lo que las zonas expuestas a las vibraciones más intensas se revelan primero. El resultado no es muy diferente del obtenido con la holografía óptica, donde se utiliza un haz láser de referencia para completar el holograma. Hasta el momento no se han conseguido imágenes "acústicas" verdaderas con holografía, pero lo que ya se puede realizar



Principios fundamentales de la holografía óptica: arriba, la formación de un holograma (con formas de anillos concéntricos) por interferencia entre las ondas que dispersa el punto y la onda de referencia; en el centro,

la reconstrucción del holograma por iluminación con la onda de referencia. Los dos frentes de onda que resultan de la difracción producen dos imágenes del punto, una virtual (verdadera) y otra real (conjugada).

En la parte derecha, el principio del registro de un holograma acústico. La fuente envía ondas acústicas puras (de tipo sinusoidal) hacia el objeto, mientras que un micrófono, detrás de éste, se desliza de forma regular para captar la "trama" de interferencias que produce el objeto. El procedimiento también se puede invertir, dejando fijo el micrófono y moviendo la fuente sonora a lo largo de una trama análoga. Debajo se puede ver el

holograma acústico registrado y su reconstrucción por iluminación con láser. El dibujo de la parte izquierda ilustra la realización de una holografía acústica utilizando la superficie de un líquido. La imagen acústica del objeto produce sobre una película de aceite franjas de difracción interaccionado con un haz de referencia; el holograma formado en la superficie del aceite se "traduce" con un rayo láser para hacer que la imagen pueda verse con una lente.

con holografía acústica tiene, en cualquier caso, aplicaciones de gran importancia.

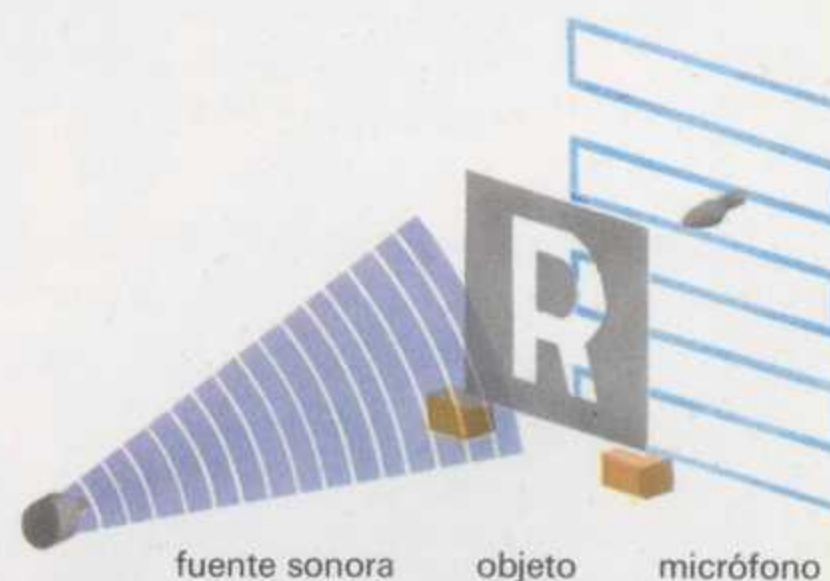
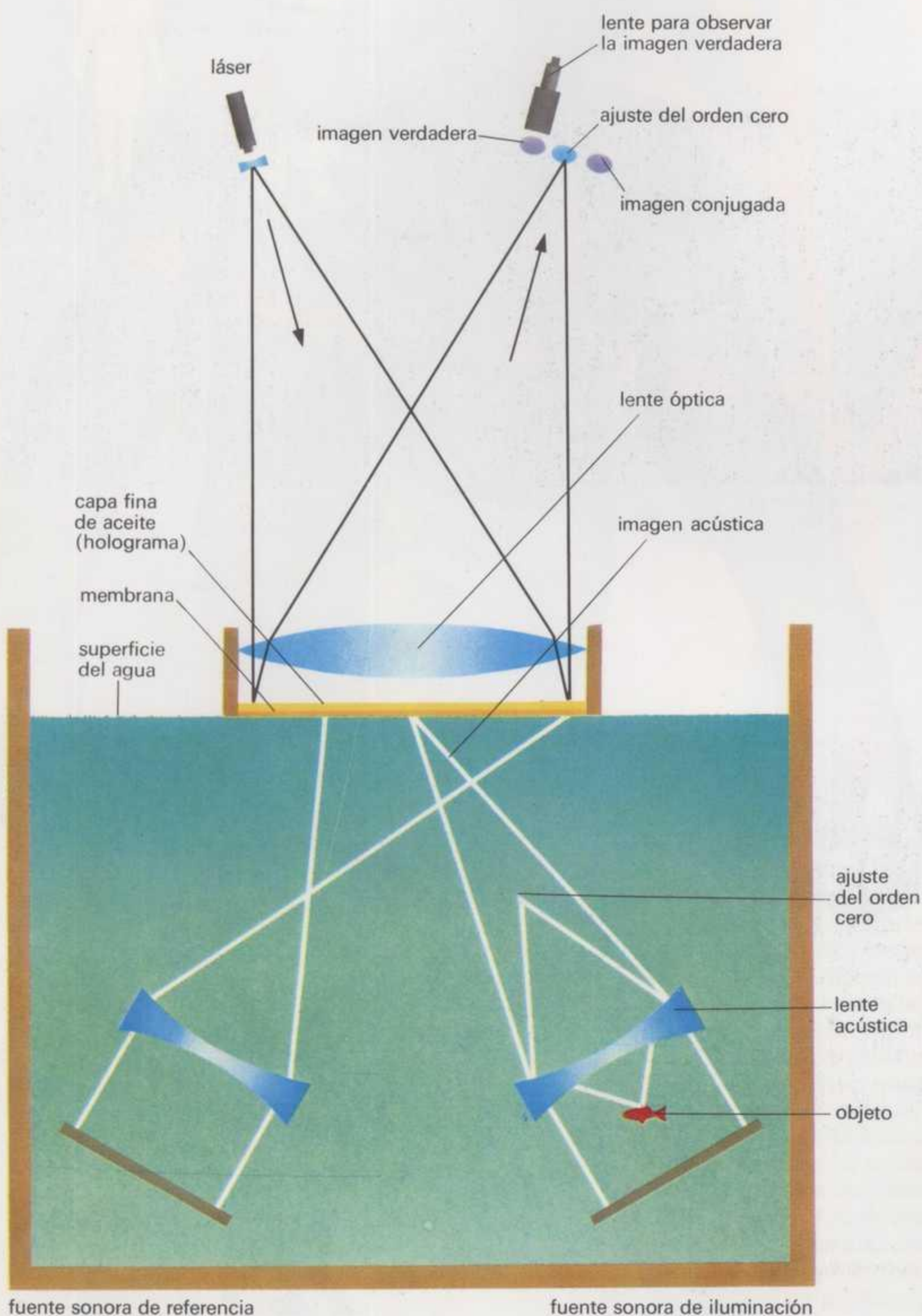
Aplicaciones del holograma acústico

Las ondas acústicas se pueden propagar también por medios que la luz no puede atravesar, lo que las hace especialmente útiles en Medicina. Sometiendo los miembros del cuerpo humano a holografía acústica, se pueden obtener buenas representaciones de los distintos órganos, de la circulación de la sangre y otros fluidos, de tumores cerebrales, del desarrollo de un feto, etc. En los últimos años, la utilización de la holografía acústica en el estudio de fetos y tumores cerebrales ha

sido de gran ayuda. La imagen holográfica de un feto expuesta a una onda de la misma longitud que la utilizada al registrarla se puede examinar para observar malformaciones, enfermedades e incluso para determinar el sexo, todo ello sin peligro alguno para el feto y la madre.

Otras aplicaciones de la holografía acústica, aunque todavía no tan desarrolladas como las médicas, son el estudio de la composición de las capas terrestres, el estudio de los fondos oceánicos, el análisis de la estructura de metales y cristales, etcétera.

Véase **Holografía; Láser**



Hombre

Hace unos 10.000 años había más de 10 millones de seres humanos sobre la Tierra. Hace unos 4.000 años el número de individuos aumentó considerablemente; hace unos 2.000 años la población alcanzó aproximadamente los 300 millones, y, según las estadísticas más recientes, a finales de siglo la Tierra estará habitada por unos 6.000 millones de seres humanos.

El hombre es el más evolucionado de los seres vivos que pueblan la Tierra; no sólo ha aumentado su población con una rapidez sin precedentes, sino que también ha demostrado ser la especie más adaptable, y vive en los lugares más variados desde el punto de vista geográfico, climático y ecológico.

La historia humana puede aparecer, con razón, como una leyenda larguísima, aunque en términos geológicos se puede decir que se ha desarrollado en "un momento".

Los orígenes del hombre El momento exacto de la transición entre los animales simioscos y los homínidos (los primeros antepasados bípedos del hombre) sigue siendo un problema complicado, todavía por resolver dentro del estudio de la evolución. Hoy día la mayor parte de los antropólogos coincide en establecer la época de la transición hace aproximadamente 4 millones de años.

Las recientes investigaciones acerca de las diferencias entre los aminoácidos humanos y los de otros monos han revelado, en contra de lo que habían supuesto muchos investigadores, que hay menos diferencia entre los aminoácidos humanos y los del gorila y el chimpancé que entre estos últimos y otros monos menos evolucionados. Los biólogos han formulado un "reloj molecular", basado en estas diferencias entre aminoácidos, con el cual se establecen los tiempos de divergencia entre parejas de especies procedentes de un antepasado común. Pese a que incluso alguno de sus partidarios considera que "no es un reloj demasiado exacto", la fecha de hace 4 millones de años está avalada por los restos fósiles.

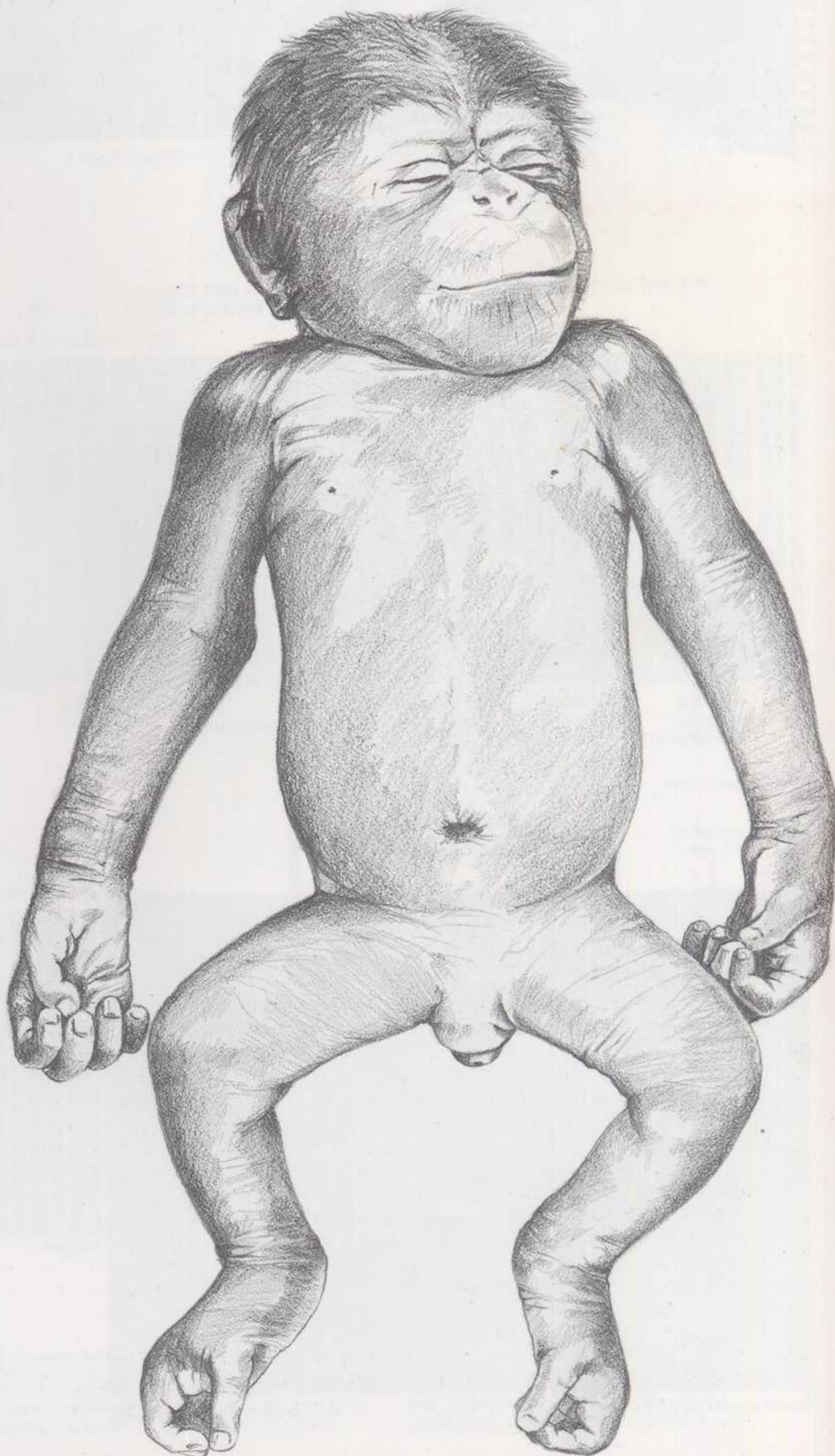
Los primeros homínidos están relacionados con el *Australopithecus* ("mono del Sur") o con hombres-mono con los que se inicia la Edad de Piedra. Los *Australopithecus* evolucionaron hasta el *Homo habilis*, que dominó durante varios millones de años; luego apareció el *Homo erectus*, el primer homínido que aprendió el uso del fuego. El inmediato predecesor del hombre moderno *Homo sapiens* fue el hombre de Neanderthal, que vivió de 160.000 a 40.000 años atrás. No era demasiado evolucionado en el aspecto intelectual: si bien perfeccionó los utensilios que heredó de sus antecesores, no creó ninguno nuevo. De todas formas, parece que el hombre de Neanderthal fue el primero que se ocupó del misterio de la muerte y sepultó a sus difuntos con ceremonias; además, parece que fue también el primero que realizó rituales de magia. Su vida, como grupo biológico, no fue muy larga, lo que es inter-

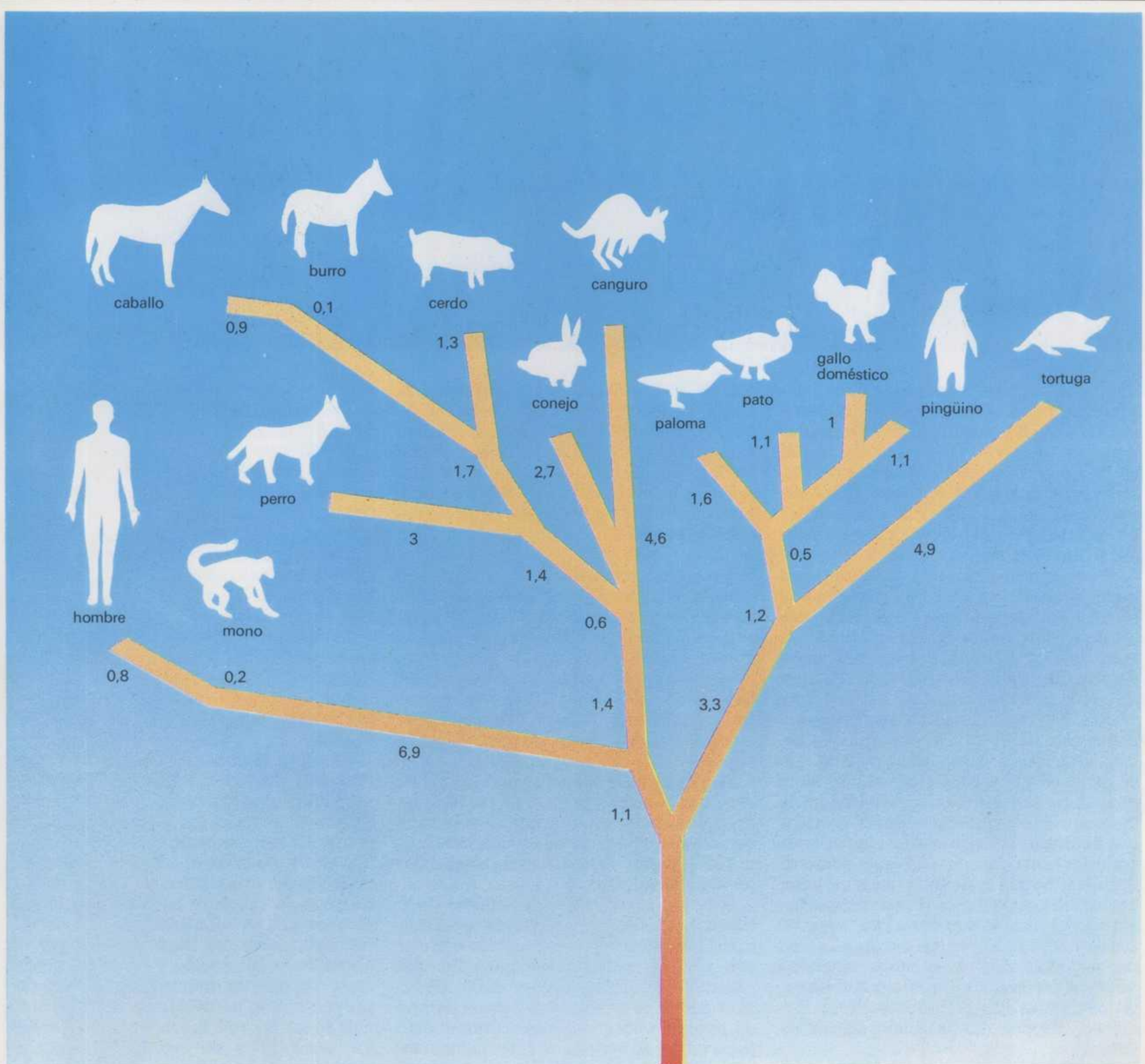
Todos los recién nacidos de los monos antropomorfos se parecen de forma impresionante: este pequeño gorila pone de manifiesto su claro parentesco con nuestra especie. Ese parecido responde al principio —bien conocido por los expertos en temas de evolución— de la Ley

Biogenética Fundamental: la sucesión de las fases del desarrollo embrionario de un individuo es un resumen de las fases de su desarrollo evolutivo. Por tanto, observando los embriones de los recién nacidos podremos intuir de

forma precisa cuáles fueron las etapas más importantes del desarrollo evolutivo del hombre. Es más, se cree que algunas características humanas tienen un origen muy reciente, como el notable volumen de la caja craneal en relación con el del cuerpo, o la

piel con poco pelo. Tal vez, dichas características han aparecido por *neotenia*, proceso mediante el cual un animal alcanza la fase adulta y la capacidad de reproducirse conservando características propias del recién nacido o del individuo joven.





pretado por algunos antropólogos como la consecuencia de que sus órganos vocales eran demasiado primitivos, y no consiguieron una gama de sonidos adecuada para mantener la interdependencia suficiente entre todos los individuos de la especie.

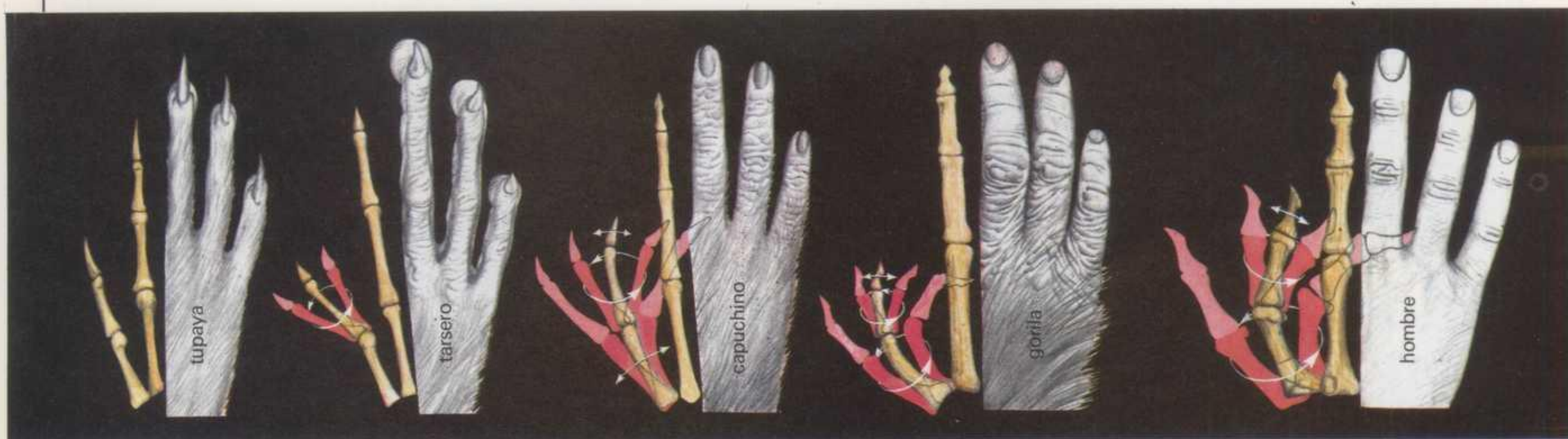
Lenguaje como adaptación selectiva

El hombre, a diferencia del resto de los vertebrados, tiene un dispositivo vocal formado por dos partes: la laringe (caja vocal) y la faringe, sección de la tráquea situada por encima de la laringe. Se cree que en un principio la laringe era un órgano que impedía que entrasen sustancias extrañas a los pulmones y sólo posteriormente se convirtió en un órgano productor de sonidos. Gracias a que la laringe y la faringe se pueden utilizar de for-

ma independiente, el hombre es capaz de pronunciar vocales y consonantes. Según los modelos de escayola obtenidos a partir del cráneo del hombre de Neanderthal, estos primeros homínidos (muy parecidos a los chimpancés y a los humanos recién nacidos hasta los tres meses de edad) tenían sustancialmente un solo componente del tramo vocal. Los estudios (efectuados con ordenador) del dispositivo vocal del hombre de Neanderthal indican que, a pesar de que tenía una capacidad vocal superior a la de los chimpancés, no era capaz de emitir los siguientes sonidos: A, I, U ni las consonantes G y K. Sally Binford (de la Universidad de California), investigadora del hombre de Neanderthal, sostiene que durante el período Neanderthal la caza se diversificó mucho al aparecer nuevas especies de fieras. Estos animales,

Nuestra especie, clasificada como *Homo sapiens*, tiene un lugar preciso en la serie de especies animales ordenadas por los científicos con arreglo a las características evolutivas. Las redes de relaciones y afinidad evolutiva se representan con esquemas como éste, llamados *árboles evolutivos*. La longitud de las ramas de estos árboles representa la magnitud de las diferencias, o, en otros términos, las distancias evolutivas. Dentro de los animales vertebrados, nuestra especie se encuentra en la Clase de los Mamíferos, Subclase

de los Placentarios, Orden de los Primates, Familia de los Homínidos (de la que es su única especie). Al Orden de los Primates pertenecen también todos los monos. No son, como han dicho a veces los detractores de la teoría evolutiva, "antepasados" del hombre, sino especies muy afines a la nuestra que proceden de un tronco común, cuyo origen es muy antiguo. Todavía se conocen bastante mal las distintas fases intermedias que han dado origen al hombre, y existen muchas dificultades para completar los estudios.



que al principio eran desconocidos para los hombres de Neanderthal, les obligaron a utilizar técnicas de caza más avanzadas y a cazar en grupo. De esta forma, según Binford, los hombres de Neanderthal desarrollaron sus órganos vocales para comunicarse entre sí y coordinar las batidas de caza, de las que prácticamente dependía su supervivencia.

El escritor norteamericano Henry James escribía: "Todo el problema de la vida está relacionado con el de nuestro lenguaje —nuestro medio de comunicarnos—. El hombre es la única especie que depende de tal forma del lenguaje, cuyos orígenes no están demasiado claros. Existen siete teorías acerca del origen del lenguaje humano. Una de ellas, a la que se la ha llamado *teoría del "guau-guau"*, supone que el lenguaje es una imitación de los sonidos naturales (por ejemplo, el ladrillo de un perro). La *teoría del "io-hi-o"* sostiene que el origen del lenguaje son los sonidos emitidos después de un gran esfuerzo muscular. Según la *teoría "gestual"*, el hombre imitaba con sonidos los gestos que hacía con el cuerpo. La *teoría del "te-re-re-bum-di-ei"* sitúa el origen del lenguaje en las melodías que el hombre entonaba mientras estaba trabajando; algunas de estas cantinelas acabarían teniendo un significado especial (celebración, alarma, etcétera.)

Según la *teoría del "tally-ho"*, la caza obligaba a unas comunicaciones más exactas que las de las señales y gestos poco precisos.

Cultura El hombre es la única especie que tiene una capacidad prácticamente ilimitada de aprendizaje.

La "cultura" no se refiere sólo al modo de vida de un pueblo, sino también a todos los aspectos de la vida que se inventan y son superados (de forma consciente) por las generaciones sucesivas, y se transmiten tanto en su forma original como modificados. Se puede decir que la cultura es una producción conjunta del individuo y la sociedad, siempre en beneficio de ambos.

Los animales, por lo general, tienen grandes limitaciones en su aprendizaje, mientras que el hombre tiene que aprender de los individuos de su especie la for-

ma de comportarse en su ambiente. El hombre tiene la ventaja de que se puede liberar de las limitaciones del instinto, es extraordinariamente adaptable, posee una inteligencia mucho más compleja y está dotado de una enorme capacidad de pensamiento simbólico y de un lenguaje; además es "creativo".

Las razas humanas Se han formulado dos teorías opuestas en lo referente al origen de las razas humanas.

Según la primera de ellas, el hombre moderno descende de un solo tronco procedente del hombre de Neanderthal, hace unos 40.000 años. Como este tronco ha sustituido al hombre de Neanderthal, la teoría también se llama *de sustitución de las razas*.

Según dicha teoría, el origen común es protocaucasoide, y el resto de las razas ha evolucionado a través de una selección natural en un período de tiempo muy corto (30.000 años, lo que supone unas 1.000 generaciones).

Además, siempre según la teoría de la sustitución, el *Homo sapiens* era tan distinto del *presapiens* que no se podía mezclar con él. Hay muchos antropólogos que creen que el *Homo sapiens* debió de luchar contra el *presapiens* al poco tiempo de aparecer sobre la Tierra; pero si esto fuera cierto, se vendría abajo el fundamento de la teoría de la sustitución.

Según otra teoría sobre el origen de las razas humanas, los cinco mayores grupos proceden cada uno de una rama distinta del *presapiens*. Carleton Coon, el antropólogo norteamericano promotor de esta teoría, sostiene, por ejemplo, que los australoides proceden del *Pithecanthropus*, un *presapiens* que vivía en la zona de Java; que los mongoles descienden del *Sinanthropus*, un *presapiens* del norte de China. Actualmente la teoría de Coon ha quedado, según algunos antropólogos, bastante desfasada.

A pesar de que el origen de las razas humanas todavía es motivo de discusión entre los antropólogos, la mayoría de los expertos coincide en afirmar que hay cinco líneas de razas principales, que exponemos a continuación.

Los *Caucasoides*, cuyos rasgos físicos más importantes son la tez clara, los cabe-

llos espesos —rizados o lisos—, generalmente revueltos; se concentran en Europa y América del Norte.

Los *Mongoloides*, caracterizados por el típico color amarillento de su piel, son de pequeña estatura, tienen ojos almendrados y los cabellos gruesos y lisos; viven en Asia.

Los *Australoides*, rama que abarca a los aborígenes australianos y a las poblaciones de Nueva Guinea, las islas Fidji y otras islas del Pacífico.

Los *Capoides*: son las poblaciones que viven en Oriente Medio y África del Norte, generalmente al norte del Sáhara.

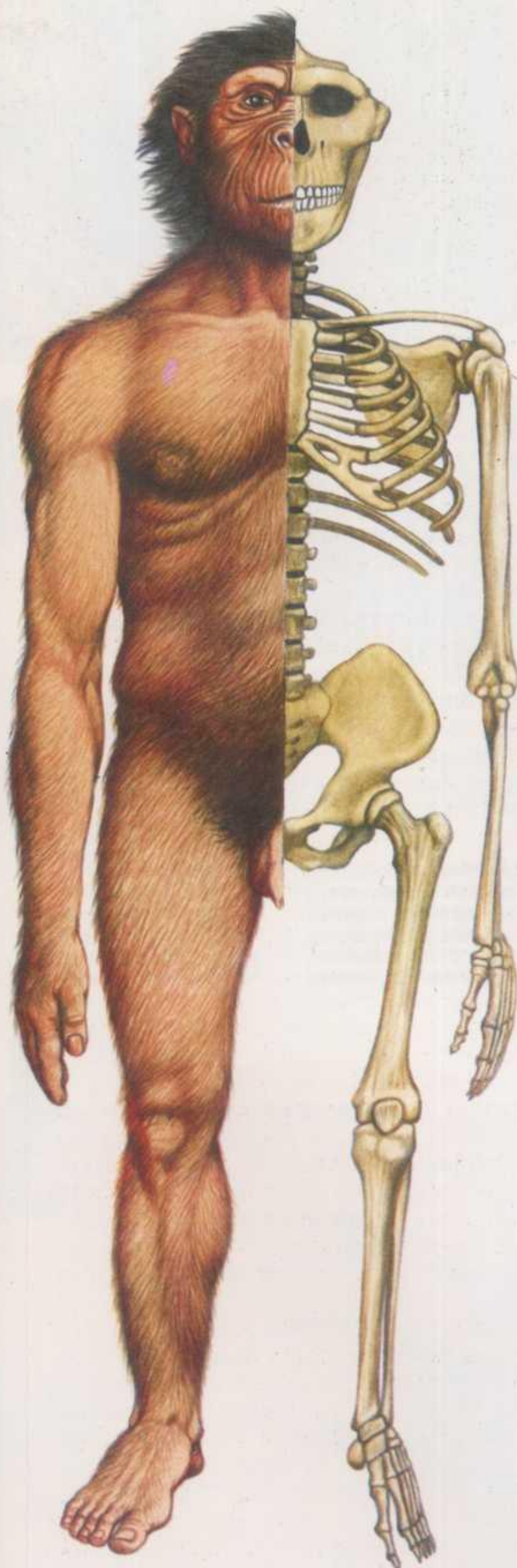
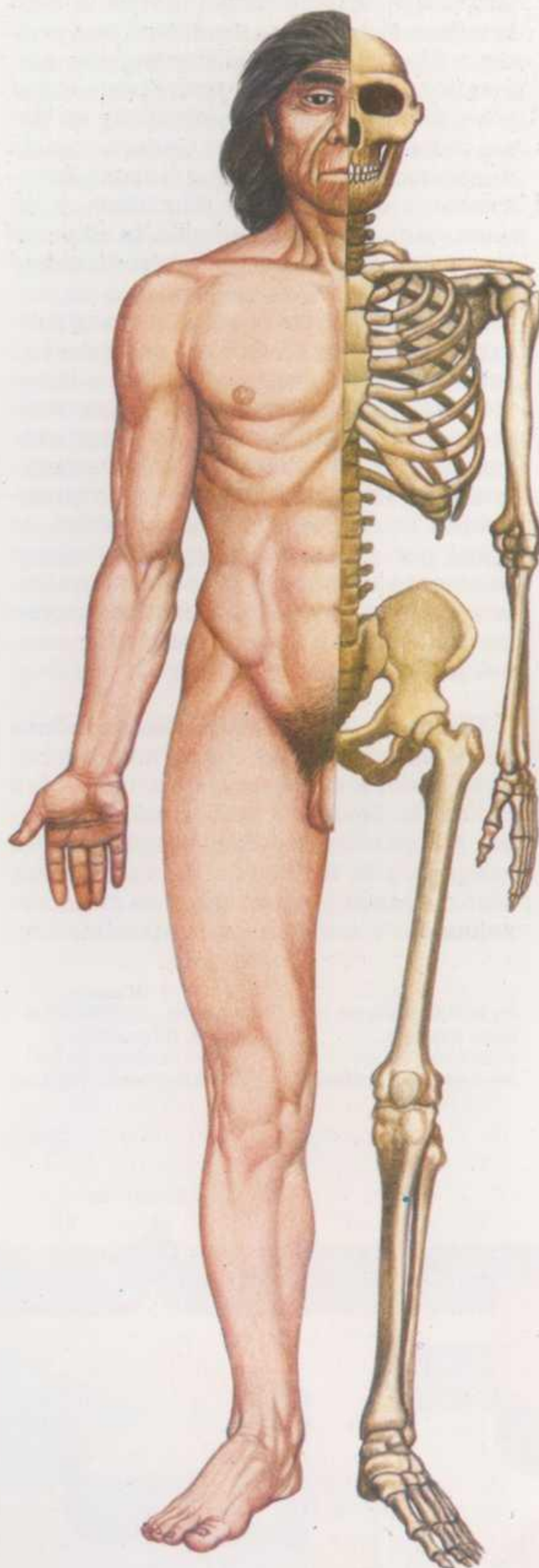
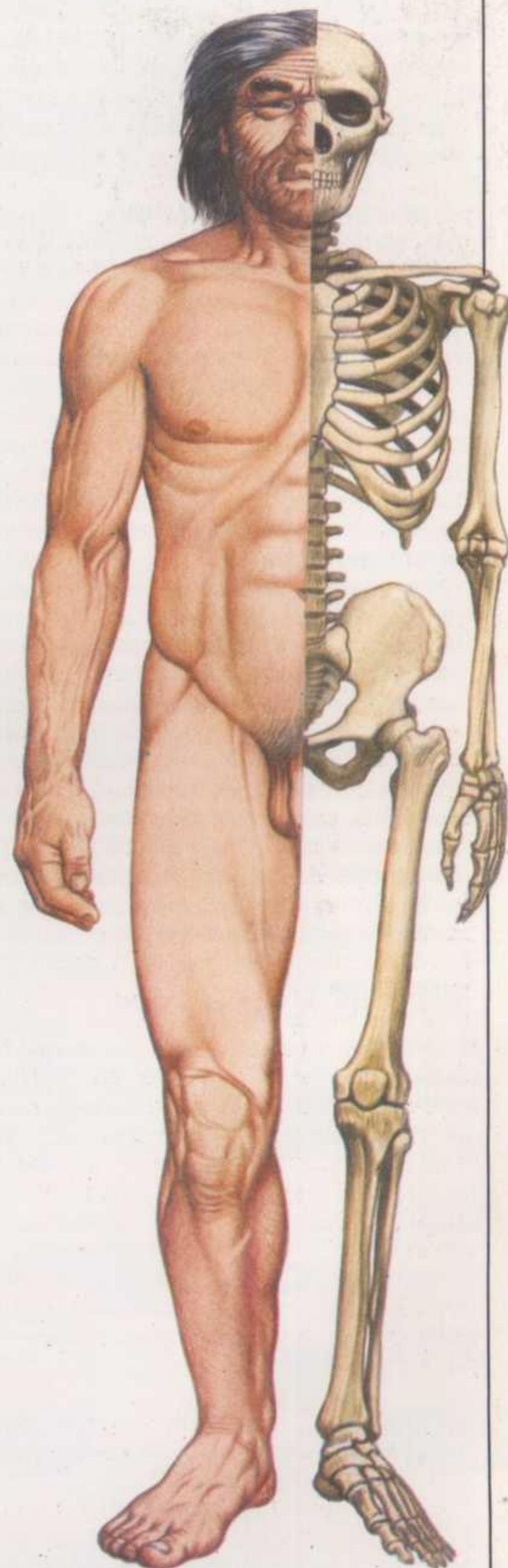
Los *Congoides* (o negroides): son poblaciones que viven en África, al sur del Sáhara.

Es difícil encontrar —aparte de las diferencias de forma y color de la piel— unas características que permitan diferenciar con exactitud las distintas razas humanas. En muchas regiones las razas se difuminan y, además, el reciente desarrollo de los transportes, unido a la caída de las barreras religiosas y raciales que impedían los matrimonios llamados "mixtos" en la mayor parte del planeta, hace que el aislamiento geográfico y genético tenga cada vez menos importancia. Se puede prever que en los próximos siglos se atenuarán las diferencias morfológicas entre los hombres, y se extinguirán algunas razas.

En cambio, es fácil encontrar caracteres de nuestra especie en todos los grupos étnicos, como por ejemplo el pensamiento abstracto, que según algunos antropólogos es la función humana por excelencia.

"¡Qué obra maestra es el hombre!", decía Shakespeare con asombro; y en realidad, dejando a un lado las diferencias entre el hombre y los animales, el primero ha sido a lo largo de los siglos uno de los sujetos más complejos y fascinantes para científicos y artistas.

Véase **Evolución humana; Fósil y fosilización; Genética; Lenguaje y lenguas; Prehomínidos; Razas humanas; Vida, origen de la**

Australopithecus robustus*Homo erectus**Homo neanderthalensis*

El estudio de los fósiles permite realizar una reconstrucción parcial de la trayectoria evolutiva del hombre. Las manos, dotadas de pulgares oponibles, son una importante característica específica, que poseen

tanto los hombres como el resto de los Primates. Se cree que el desarrollo de la capacidad mental del hombre no sólo se ha visto favorecido por el uso de las manos, sino que ha sido claramente potenciado por él. Al reconstruir

el pasado evolutivo se ha podido observar que el paso a la posición erecta permitió a los primeros antepasados del hombre utilizar las extremidades superiores para manipular los objetos y para emplear utensilios. Con ello

todo el esqueleto se ha modificado profundamente. Las articulaciones de la cadera y la articulación del cráneo con los huesos vertebrales del cuello hacen que, al examinar un resto fósil, se pueda establecer la forma de vida y

locomoción de todo el organismo. La posición erecta tuvo consecuencias muy importantes en el comportamiento de los antepasados de nuestra especie. Recientemente se ha demostrado, comparando las

características del comportamiento, que las posibilidades de comunicación social de los Primates están muy influenciadas por la postura (así, por ejemplo, entre los gorilas el nivel de relación social está muy desarrollado).

Homeopatía

En nuestros días, sólo un pequeño porcentaje de médicos de todo el mundo practica la Homeopatía, un tipo de medicina que no fue conocido hasta el siglo XIX, cuando fue postulado y dado a conocer por el médico alemán Samuel Christian Hahnemann. Puede definirse como un sistema médico y terapéutico según el cual las enfermedades deben ser tratadas con fármacos administrados en concentraciones muy diluidas y cuyos efectos en el hombre sano son parecidos a los del proceso patológico que se intenta combatir.

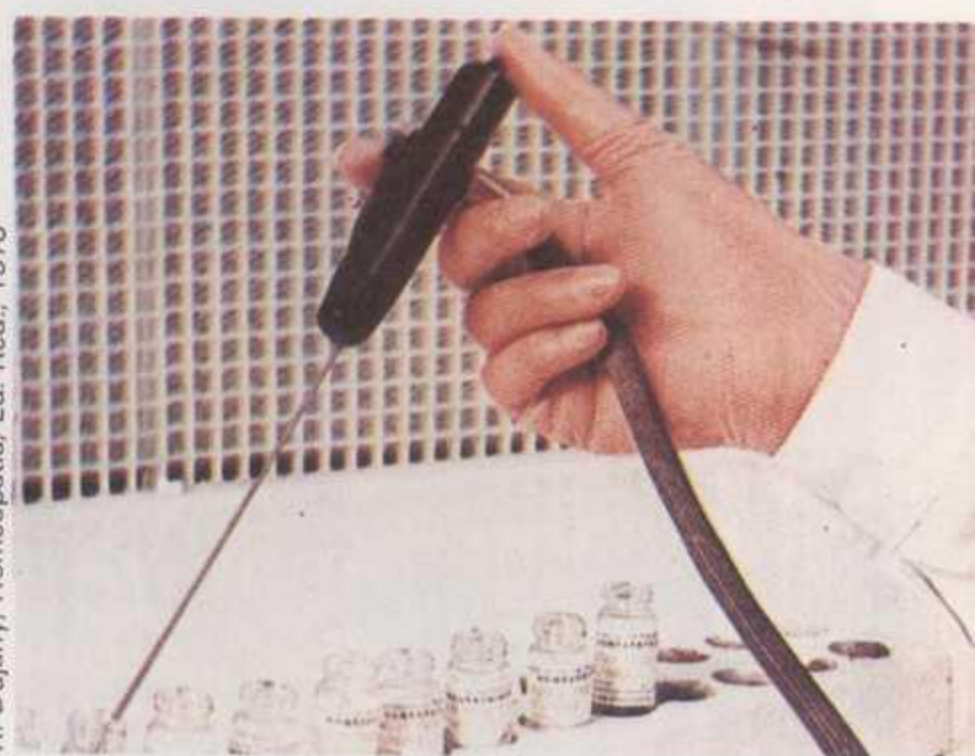
Principios de la Homeopatía El principio fundamental del tratamiento homeopático es que "lo semejante cura a lo semejante". Este principio se remonta a Hipócrates (siglo V a. de C.). Sin embargo, no fue aplicado en la práctica médica hasta finales del siglo XVIII, cuando Hahnemann descubrió que la quinina, utilizada para el tratamiento del paludismo, parecía inducir una ligera fiebre si se administraba a personas sanas. Para Hahnemann, este hecho demostraba que el principio por el enunciado era exacto. Intentó ulteriores justificaciones en otros experimentos: la belladona, utilizada para tratar la escarlatina, provocaba dolor de garganta; el azufre, empleado en el tratamiento de erupciones cutáneas, producía también erupciones en la piel, etc. En 1810, Hahnemann publicó su *Organon der rationellen Heilkunde (Medicina racional)*, en el que mantenía que el principio de que "lo semejante cura a lo semejante" podía aplicarse universalmente en los tratamientos.

En su *Organon*, Hahnemann delineó los métodos para seleccionar y preparar los

remedios. Los remedios homeopáticos se identifican a través de un proceso, llamado *prueba*, en el que un medicamento se administra a sujetos sanos y se registran los síntomas que provoca. Según el principio mencionado, ese medicamento debería, en consecuencia, curar las enfermedades que se manifiestan mediante esos síntomas. Hahnemann estableció otro principio fundamental de la Homeopatía, afirmando que un medicamento puede llegar a ser más potente si se administra en dosis reducidas al mínimo. Cada sustancia medicamentosa, cuando se prepara, es sometida a una serie de diluciones, y en cada paso de la preparación la solución es agitada de manera que el medicamento "se fortalece". De ese modo, la capacidad de curación del medicamento se pensaba que era transferida a la solución. Los principios de "lo semejante cura a lo semejante", de "la dosis mínima" y las pruebas de los medicamentos son todavía seguidos por algunos médicos homeopáticos de la actualidad. Otro principio fundamental de la Medicina homeopática es aquel por el que se piensa que "existen solamente individuos enfermos y no enfermedades", y que cada fármaco posee peculiaridades que se adaptan a la personalidad del paciente.

Contraste con la Medicina ortodoxa

En la época en que Hahnemann elaboró su sistema, existían serios motivos para criticar la Medicina tradicional. En el siglo XIX, muchos médicos practicaban las sangrías y la aplicación de vesificantes; administraban grandes dosis de mercurio, antimonio y arsénico (en la actualidad re-

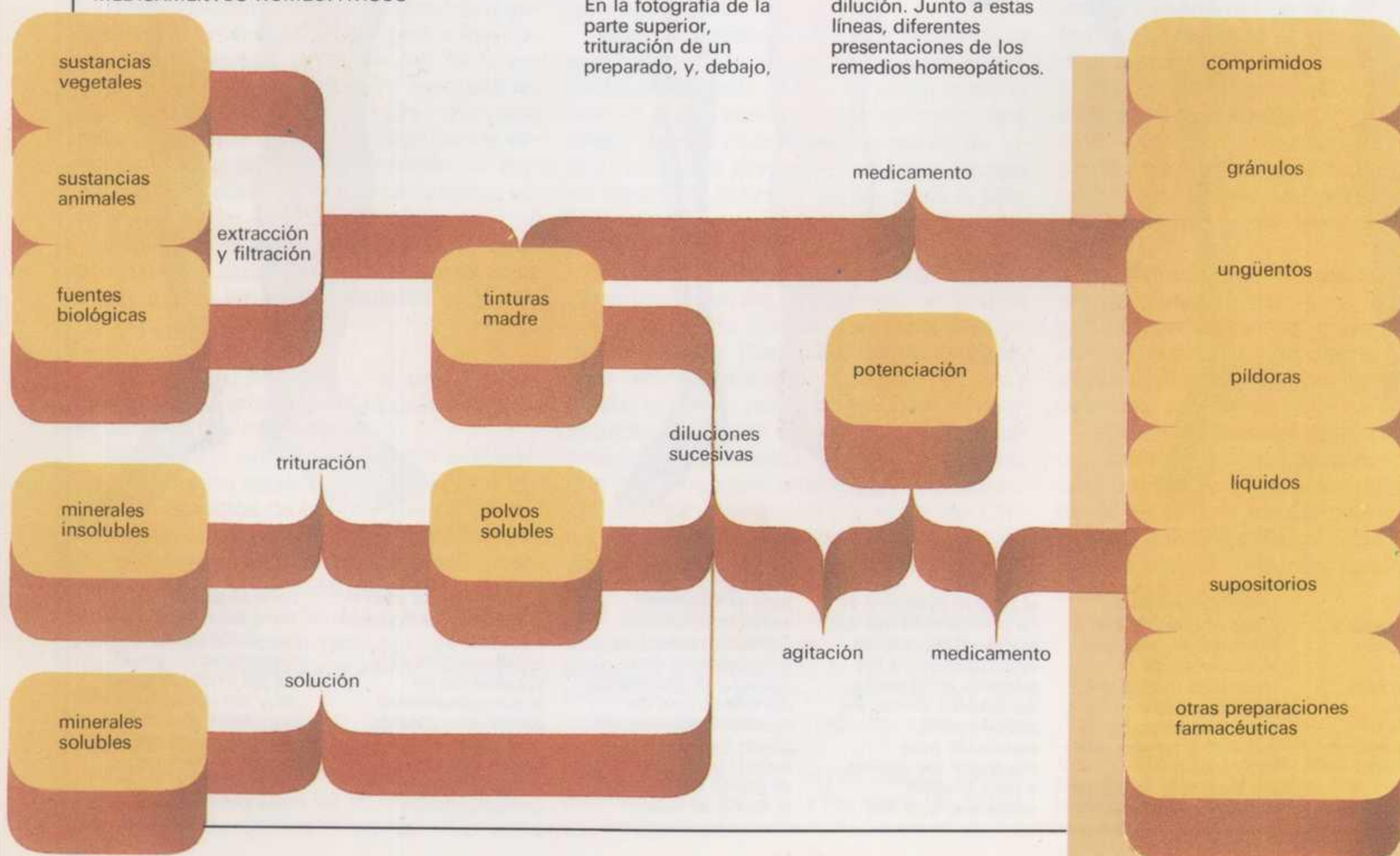


R. Dujany, Homeopatía, Ed. Red., 1978

La diferencia entre los remedios homeopáticos y los fármacos ortodoxos reside sobre todo en la preparación. Abajo,

esquema de la producción de medicamentos homeopáticos, en el que se representan fundamentalmente las

PRODUCCION DE MEDICAMENTOS HOMEOPATICOS



En la fotografía de la parte superior, trituration de un preparado, y, debajo,

dilución. Junto a estas líneas, diferentes presentaciones de los remedios homeopáticos.

conocidos como tóxicos); ponían en peligro la vida de sus pacientes prescribiendo tratamientos violentos, etc. La Homeopatía, con sus remedios sencillos y con su teoría de la dosis mínima, atraía a los pacientes que habían tenido experiencias negativas en las manos de los médicos ortodoxos. En realidad, sucedía que los homeópatas curaban "poco" a sus pacientes, dejando una buena parte de la curación a la Naturaleza; este hecho proporcionó indudables beneficios a muchos de ellos.

La Homeopatía apareció en el siglo XIX como un autorizado sistema médico: muchos aceptaron la Homeopatía durante las grandes epidemias de cólera en Europa y en Estados Unidos, cuando los remedios homeopáticos, prácticamente inocuos, obtuvieron mayores éxitos que los tratamientos de los médicos ortodoxos. Se fundaron en todo el mundo sociedades, revistas, escuelas y hasta hospitales homeopáticos. El interés llegó a ser particularmente grande en las clases sociales elevadas. En Estados Unidos, por ejemplo, Daniel Webster, John D. Rockefeller y Nathaniel Hawthorne eran devotos seguidores del nuevo sistema médico. Sin embargo, la popularidad de la Homeopatía disminuyó hacia finales del siglo XIX, cuando la Medicina ortodoxa puso en evidencia muchos de sus límites. El reconocimiento de las bases fisiológicas de las

enfermedades debilitó ulteriormente las teorías de Hahnemann. La Homeopatía fue criticada porque se ocupaba sólo de los síntomas y no de las causas de la enfermedad propiamente dicha.

Sin embargo, con el ascenso de la Medicina holística en nuestro siglo, el interés por la Homeopatía ha vuelto a resurgir. Los que practican la Medicina holística intentan curar a la persona en su totalidad más que remediar unos síntomas aislados; en un diagnóstico holístico, se toman en consideración factores tales como reacciones secundarias a los medicamentos, la alimentación y la psicología del paciente. La Homeopatía postulaba ya muchos de estos mismos principios.

Las escuelas homeopáticas, que fueron instituidas originalmente como alternativa a un sistema médico rígido, han sido integradas en la comunidad médica ortodoxa. Hoy en día ya no existen escuelas médicas homeopáticas en Estados Unidos; sin embargo, en algunas escuelas de Medicina ortodoxa se pueden seguir cursos de doctorado sobre Homeopatía. Desde el punto de vista histórico, la Homeopatía ha sido a veces considerada importante y a veces tachada de pura charlatanería. Hoy es considerada por algunos como una práctica médica alternativa moderna.

Véase **Medicina alternativa**

→ fases de dilución y agitación: la pequeña dosis "exalta" las capacidades curativas, mientras que la agitación confiere un

ulterior potenciamiento y propiedades curativas a principios que de otro modo normalmente serían inactivos.



PEQUEÑA FARMACIA HOMEOPATICA FAMILIAR

Aconitum

Está indicado en los efectos producidos por el frío seco: resfriados, gripe, tos, dolores de cabeza, fiebre. La aparición de la enfermedad es aguda: el paciente se presenta ansioso y agitado, con el pulso acelerado.

Dulcamara

Está indicado en los efectos producidos por el frío húmedo: dolor de oídos, asma, dolores óseos, obstrucción nasal; en los dolores mandibulares producidos por frialdad local.

Arsenicum album

Está indicado en los efectos producidos por el frío húmedo: resfriados con obstrucción nasal y mucosidad, que mejoran con el calor local, ansiedad, debilidad general y deseo de aire fresco.

Allium cepa

Resfriados con mucosidad, con secreción nasal irritante y lacrimación no irritante.

Euphrasia

Fiebre del heno, conjuntivitis con lacrimación irritante y secreción nasal no irritante.

Arnica

Traumas psíquicos y físicos, caídas, fatiga por esfuerzo, distorsiones, insolación.

Arnica TM (tintura madre)

Se utiliza para aplicaciones locales en casos de contusiones o dolores artrósicos o articulares. Se colocan algunas gotas en la mano y se realiza un ligero masaje frotando la zona dolorosa. Debe evitarse el uso de *Arnica TM* para el tratamiento de heridas y abrasiones.

Berberis

Cólicos hepáticos, renales o cistitis (una única administración).

Bryonia

Dolores que se acentúan con los movimientos, tos seca, sed acentuada de agua fresca, gripe, resfriados, tos; asma, especialmente en sus comienzos.

Belladonna

Inflamaciones (rubor, calor, dolor e hinchazón). Fiebres. El paciente está nervioso y no soporta los más mínimos golpes en la cama. En los niños: dolor de garganta, ataques epilépticos seguidos de náuseas y vómitos, ausencia de sed, ansiedad y miedo, aparición imprevista de ataques con rubor y sudoración. Otitis medias en niños.

Carbo vegetabilis

Cianosis, dificultad respiratoria y cardíaca, ausencia de pulso.

Chamomilla

Nerviosismo, insomnio, dolores muy intensos; dolores insoportables (cólicos). Dentición difícil en los niños. Dolores menstruales.

Nux vomica

Todos los trastornos digestivos: indigestiones, intoxicaciones alimentarias, por alcohol, café o medicamentos.

Apis mellifica

Alergias, urticarias con hinchazón rosada que mejoran con el frío, prurito.

Calendula

Para todas las heridas.

Calendula TM (tintura madre)

Para aplicación local en heridas, compresa de 10 gotas en 100 cm³ de agua hervida previamente enfriada.

Oscillocochinum 200

Un cuarto del tubito de una sola vez en ayunas nada más aparecer síntomas de dolor de garganta, resfriado, gripe u otitis.

Hormiga

Hay en el mundo unas 8.000 especies de hormigas, y aunque se tiende a considerar a estos insectos —repartidos por toda la superficie terrestre— como unos perturbadores o intrusos, su dominio territorial en nuestro planeta es mucho más antiguo que el de la Humanidad; los restos fósiles de hace unos 60 millones de años nos muestran hormigas prácticamente iguales a las actuales. En la mayoría de los casos, las hormigas son útiles al hombre. Sus nidos subterráneos contribuyen a la oxigenación del suelo, y ellas mismas devoran enormes cantidades de insectos.

Entre las hormigas depredadoras se puede citar a las del género *Eciton* de América del Sur, que en la región tropical reciben el nombre de *marabunta*: acaban no sólo con los insectos, sino también con los nidos de algunas aves que hay en el suelo, etcétera.

Al igual que las abejas (que se incluyen dentro del mismo orden de insectos, el de los Himenópteros), las hormigas, que pertenecen a la familia de los Formícidos, forman unidades sociales altamente organizadas. La organización de muchas especies es tan sofisticada como para permitirles la obtención del alimento mediante la explotación de otros animales o plantas. Es notable el caso de la hormiga parasol de América del Sur (género *Atta*), que arrasa el follaje de los árboles para formar en sus hormigueros una masa fermentada en la que se desarrollan unos hongos, que constituyen su único alimento. Algunas especies del género *Lasius* crían minúsculos áfidos a los que "ordeñan", casi como si se tratara de vacas lecheras, para aprovechar sus apetitosas secreciones con sabor a miel.

En algunos casos las hormigas han aprendido incluso a emplear utensilios, capacidad que sólo se suele asociar al hombre y a los monos antropomorfos. Las hormigas tejedoras, que viven en las regiones tropicales de África y Asia, cosen unas hojas con otras hasta formar un nido, aprovechando la seda que producen sus larvas.

La anatomía de la hormiga El cuerpo de la hormiga está dividido en tres partes —cabeza, tórax y abdomen— y está protegido por un esqueleto externo similar a una armadura. Las dos antenas poseen unas papilas olfativas y unos sensores táctiles. Mediante la percusión, el tamborileo o el roce con el cuerpo de otra compañera, una hormiga puede transmitir diversas informaciones, como la inminencia de un peligro o la presencia de alimento.

Las hormigas poseen un par de mandíbulas que utilizan para levantar objetos, reparar el hormiguero, transportar las larvas y luchar contra los enemigos, y otro par más interno con el que mastican la comida; aunque hay hormigas que tienen una dieta principalmente líquida.

Los tres pares de patas se insertan en la parte inferior del tórax, que a su vez se une al abdomen mediante un pedúnculo flexible. Dentro del abdomen hay un órga-

no singular, el *influrio*, que también recibe el nombre de "estómago social". En este estómago se almacenan sustancias nutritivas que, si llega el caso, se regurgitan para ofrecerlas a las compañeras o a las larvas que se crían en el hormiguero. Muchas hormigas poseen en el abdomen unas glándulas tóxicas conectadas con un aguijón.

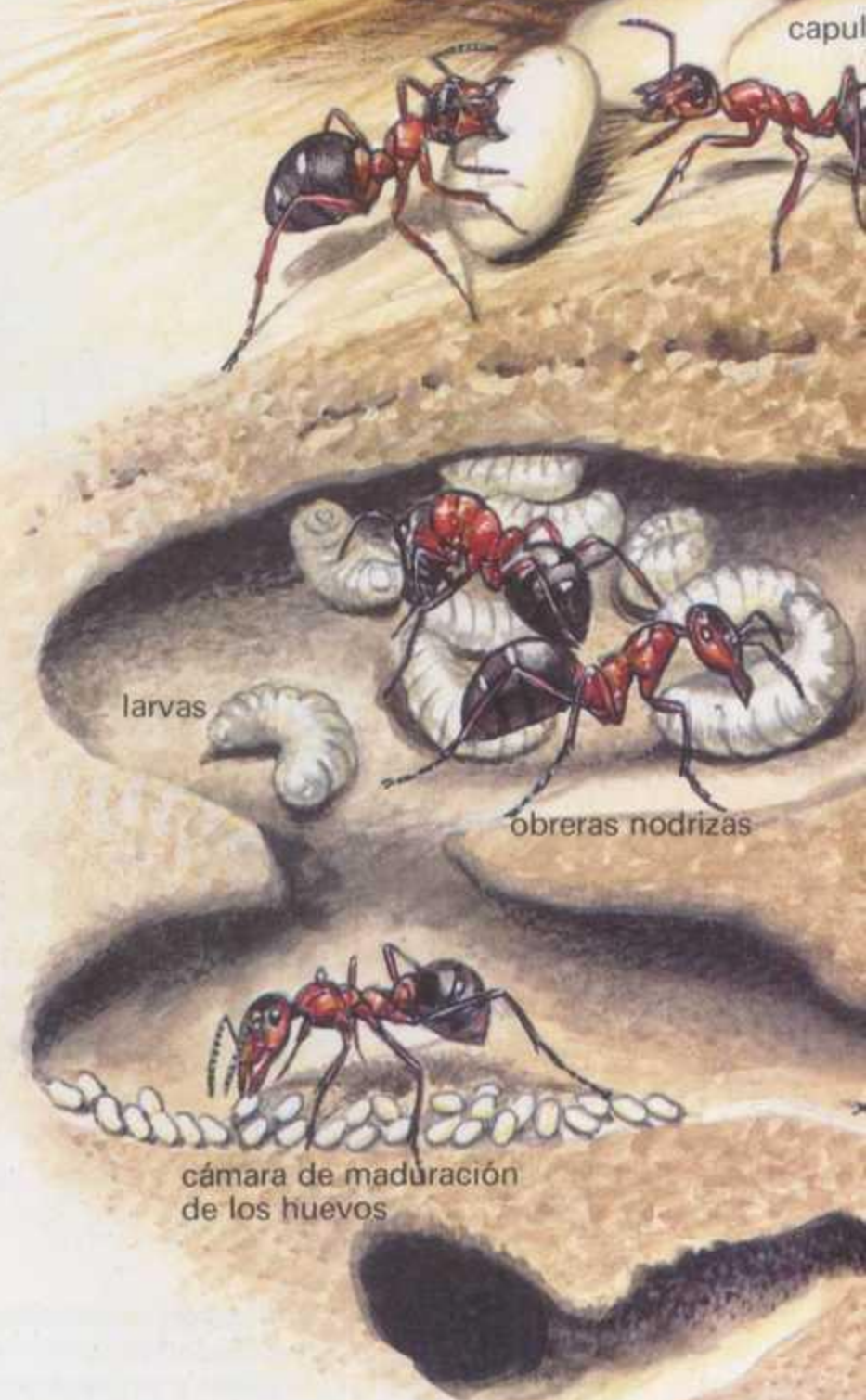
Las sociedades de hormigas están capitaneadas por una reina, que se puede reconocer fácilmente por su abdomen alargado y notablemente dilatado a causa de sus voluminosas glándulas sexuales. La reina puede poner huevos prácticamente sin parar, y es la madre de todas las obreras que forman la colonia.

Las obreras, que son hembras estériles, tienen unas dimensiones muy variables según las funciones que les corresponda desempeñar: las más pequeñas apenas alcanzan un milímetro de longitud, mientras que, en ciertas especies tropicales, las obreras especializadas en tareas de defensa ("soldados") pueden medir varios centímetros. Los "soldados" suelen defender el hormiguero desde dentro, pero en ciertas especies también escoltan a las columnas de obreras fuera del hormiguero.

Reproducción Excepto durante un breve período del año, la sociedad de las hormigas es totalmente femenina, formada por hembras fértiles aladas (las reinas, de las cuales sólo una suele ser la fundadora del hormiguero) y por hembras estériles y carentes de alas (las obreras). La excepción tiene lugar durante el período del llamado vuelo nupcial, que se suele observar durante la estación cálida. Entonces se pueden ver bandadas de machos alados salir del hormiguero, seguidos de muchísimas hembras aladas. El vuelo nupcial, en el que pueden participar hasta unos 10.000 individuos, puede dar la impresión de una nube de humo que se eleva sobre el suelo.

La auténtica ceremonia nupcial es muy corta; el macho y la hembra se aparean en vuelo y caen al suelo. Una vez fecundada, la hembra almacena el esperma en un órgano especial del aparato reproductor, la *espermateca*; los espermatozoides contenidos en ella podrán ser utilizados durante toda su vida reproductora, que puede durar hasta 15 años. El ciclo vital del macho termina, en cambio, con el vuelo nupcial, ya que muere inmediatamente después del apareamiento. Hay hembras fértiles que consiguen ser fecundadas, pero sólo unas pocas lograrán sobrevivir a los depredadores y a otros peligros, logrando fundar nuevas colonias. La hembra que logra sobrevivir, la futura reina, se dedica a buscar un lugar adecuado para el hormiguero, que, según las especies, puede ser un agujero en un árbol, la tierra que hay debajo de una piedra o el subsuelo. Una vez asentada en un refugio adecuado, la reina cava una celdilla y empieza a poner huevos. Al cabo de unas 8 ó 10 semanas van saliendo de los huevos unas larvillas parecidas a gusanos, que forman

HORMIGUERO DE HORMIGA ROJA
(*Formica rufa*)



La vida social de las hormigas es análoga a la de las abejas. Casi todos los individuos son hembras estériles que con sus variadas tareas se ocupan de la prosperidad de la colonia. En la foto y en el esquema de arriba, vemos una sección de una porción del hormiguero: la cámara real, en la que la reina

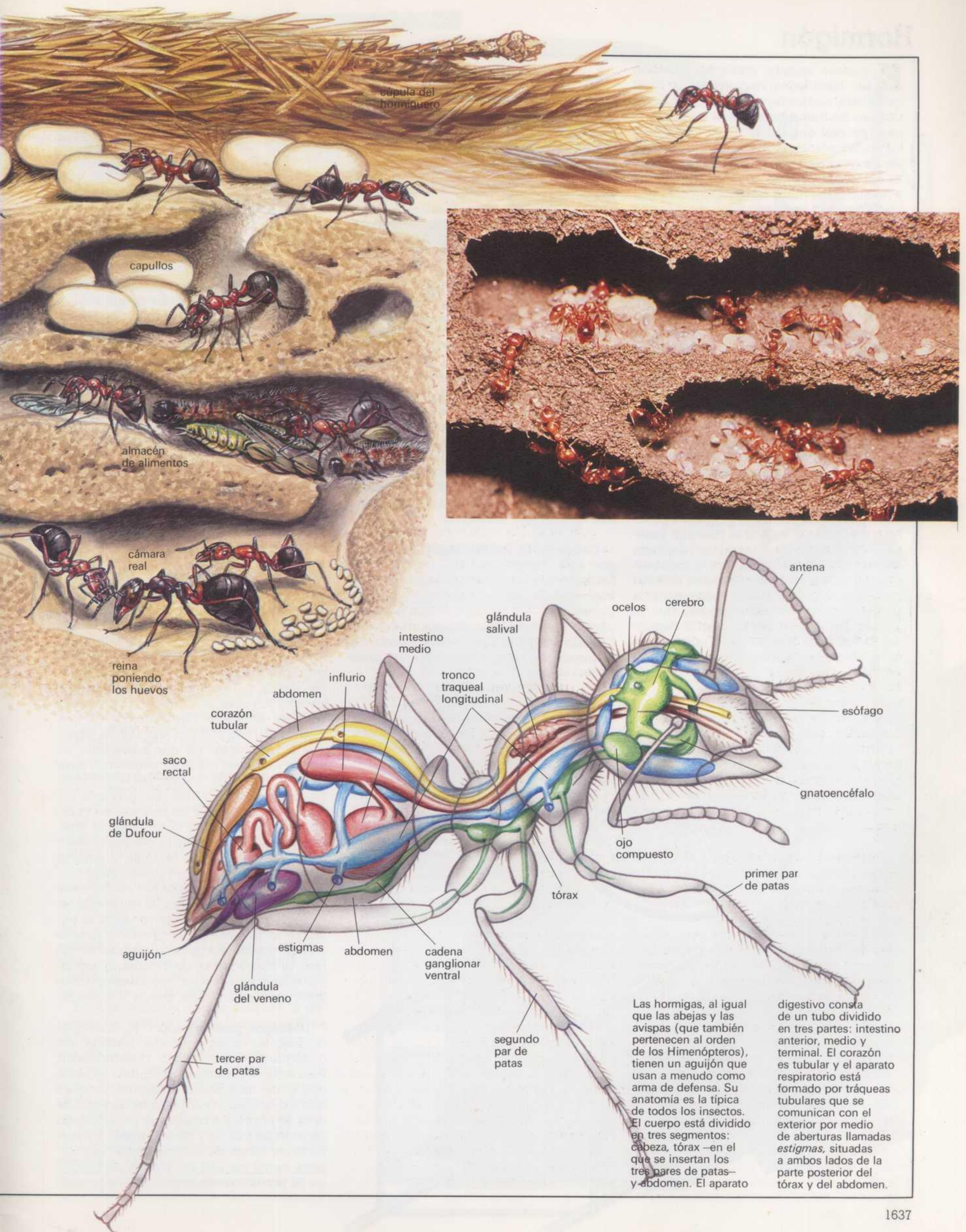
está poniendo los huevos; la cámara de maduración de los huevos, las larvas alimentadas en la boca por las obreras nodrizas, las obreras almacenando el alimento y, por último, la cúpula protectora del hormiguero, que además de tener numerosos pasadizos, garantiza la aireación.

ninfas y se abren dando origen a las primeras obreras adultas.

Este primer período es muy difícil para la reina, que tendrá que alimentar a todas las larvas; en cambio, las larvas de las generaciones posteriores serán cuidadas por las obreras. Una vez superada esta fase crítica, una colonia de hormigas puede a veces prosperar durante mucho tiempo, incluso más de 80 años.

En ciertas especies de hormigas, la reina, para asegurar la supervivencia de su colonia, puede invadir otro hormiguero, matando a la reina local y obligando a las obreras a ocuparse de su propia prole. La existencia de esas hormigas "esclavistas", así como la de hormigas que tienen costumbres parasitarias, nos puede dar una idea de la gran complejidad del comportamiento social de estos insectos.

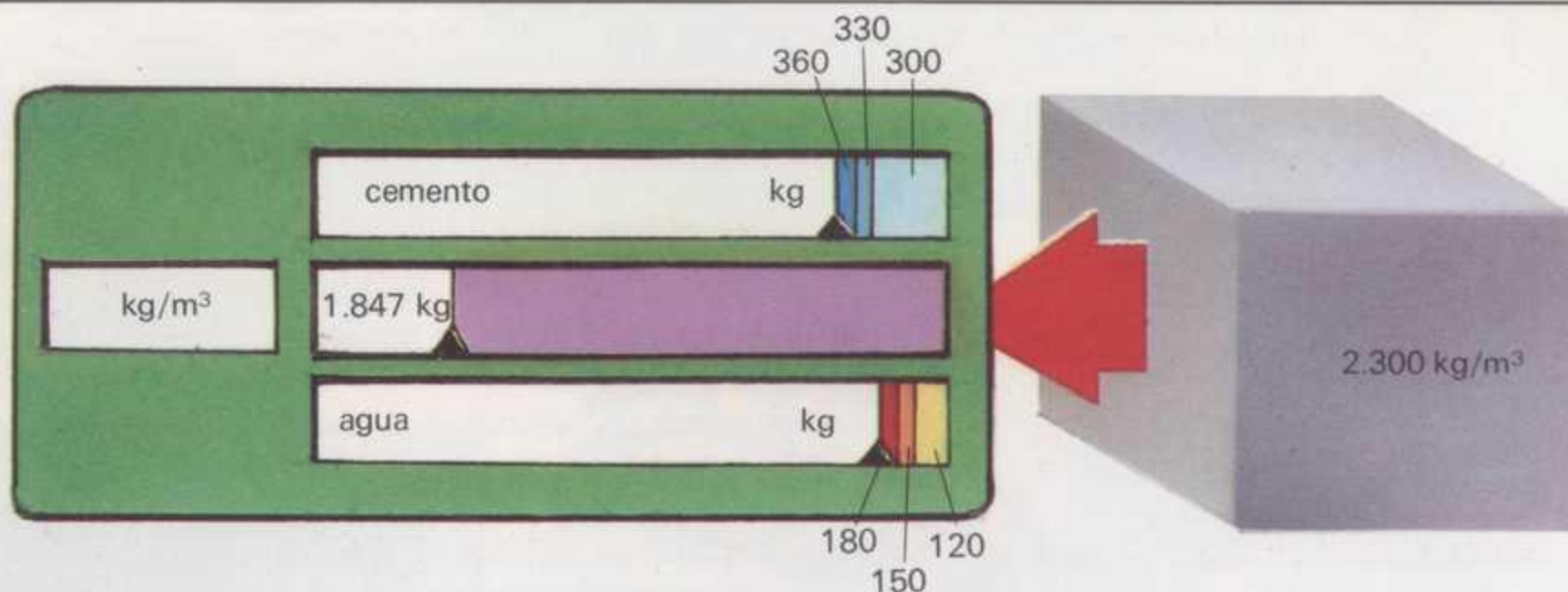
Véase **Abeja; Insectos**



Hormigón

El género humano utiliza el hormigón en cantidades mayores que cualquier otra sustancia, excluida el agua. El Coliseo de Roma permanece en pie después de casi dos mil años gracias al hormigón, a pesar de que fue desprovisto de los bloques de mármol que lo recubrían. Al comenzar el siglo, muchos ingenieros y arquitectos denominaron esta época como "la del hormigón". Justo entonces se comenzaban a aceptar extensamente las diversas aplicaciones de este versátil material. Diques, edificios, casas, postes telefónicos y hasta naves se construían con hormigón. Parecía tener muchas ventajas respecto a otros materiales. Además, podía ser fabricado en el lugar de uso y colocado en moldes de cualquier forma y dimensión. Sin embargo, el entusiasmo por el hormigón resultó prematuro: se comprobó sus ventajas en algunas aplicaciones, pero se le encontró insuficiente en otras. Como la madera, el acero y otros materiales, es al mismo tiempo resistente y débil. En los últimos años, los técnicos han aprendido a mejorar la resistencia del hormigón y disminuir, o incluso vencer, en parte, su debilidad.

Cuando el hormigón se difundió como material de construcción, se puso a prueba para imitar el principal material sustituido: la piedra. En general, el resultado fue aparentemente mediocre e inconsistente. Para producir una calidad estética característica, fue necesario aprovechar la natural plasticidad del hormigón, que lo diferencia de la piedra natural: la capacidad de acoger rápidamente la impronta de la inventiva arquitectónica. Por ejem-



plo, se puede trabajar una superficie dándole estructuras diversas o moldearla para conseguir sombras onduladas a las diferentes horas del día. "Si el hormigón tiene algún valor estético —escribía Frank Lloyd Wright en los años veinte—, éste es su plasticidad; como piedra artificial, el hormigón no tiene gran valor estético de ninguna naturaleza, verdaderamente no tiene ningún valor por sí. Como material plástico —que puede asemejarse a la piedra por su consistencia—, está presente en él una gran calidad estética, si bien aún insuficientemente expresada". Sólo ahora se está potenciando la capacidad estética del hormigón.

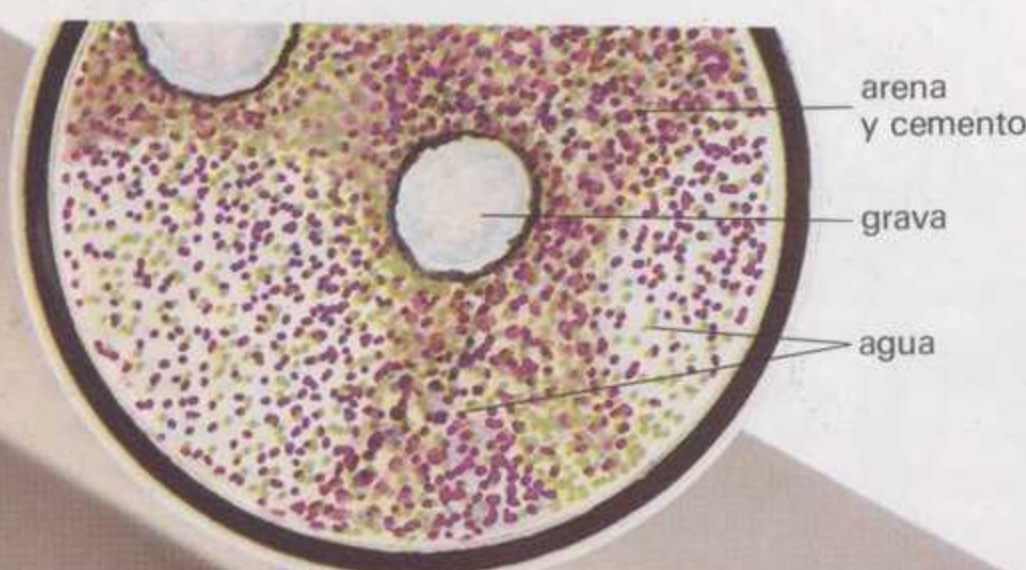
Composición del hormigón El hormigón está formado por dos componentes fundamentales: un material inerte de roca fragmentada —grava o arena— y un conglomerante —el cemento— que mantiene unidos los elementos del material inerte. Cuando se añade agua a esta mezcla, tiene lugar una reacción química entre el ce-

mento y el agua. El cemento fragua —endurece y solidifica— y los componentes del material inerte quedan unidos. En general, el hormigón contiene un 25-40% de cemento y un 60-75% de material inerte. No es aconsejable efectuar la mezcla a mano, salvo para pequeñas cantidades; normalmente se realiza en mezcladoras mecánicas llamadas *hormigoneras*. Los materiales se vierten en un tambor en forma de barril, que gira continuamente para mezclarlos de manera uniforme.

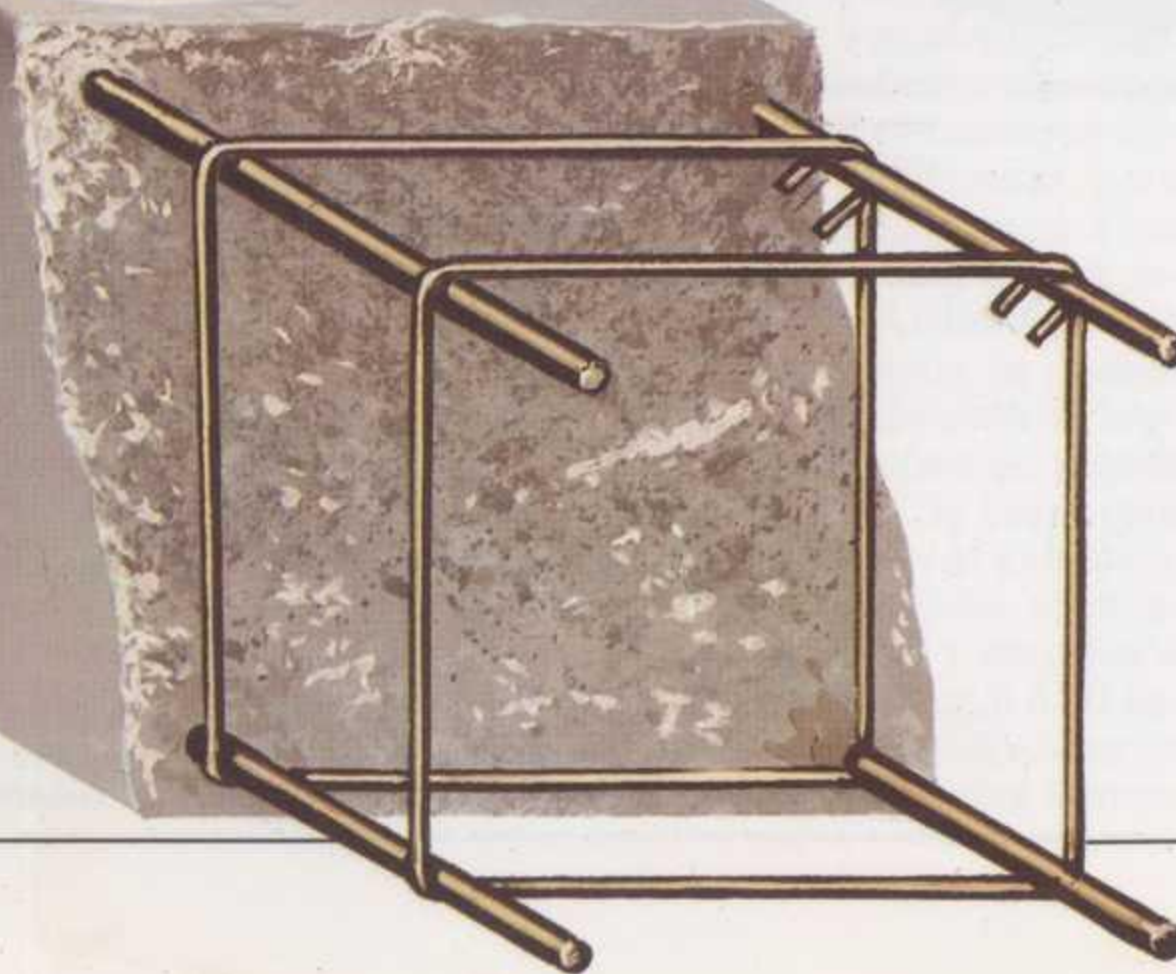
Las estructuras destinadas a soportar únicamente cargas de compresión no requieren ninguna armadura, y se llaman de *hormigón en masa*. Cuando en las estructuras intervienen esfuerzos de tracción, se embeben varillas de acero en el hormigón, y se llama entonces *hormigón armado*.

El hormigón se coloca en obra en estado fluido o pastoso; por ello es preciso depositarlo en encofrados de madera, acero o vidrio que lo mantienen con la forma deseada hasta que fragua y se endurece. Este es el método normal de depositar el hormigón para pavimentación de carreteras, suelos, paredes y algunas estructuras en obra. A veces, el hormigón para cimentaciones se vierte directamente en una fosa en terreno sólido. Después de depositarlo, pero antes de que endurezca, se deben tomar las medidas necesarias para que el hormigón fragüe perfectamente. Después, durante varios días, hay que someter el hormigón a un proceso de *curado*, del que depende su resistencia final. Este proceso es necesario porque la reacción química entre el cemento y el agua libera calor, que a veces puede aumentar la temperatura del hormigón en decenas de grados; sin el curado, el hormigón se dilataría por el calor y se retraería al enfriarse al término de la reacción, produciendo grietas. En general, durante el curado el hormigón se deja cubierto con un material como el yute, regularmente mojado, para mantenerlo fresco y húmedo.

Hormigón prefabricado El hormigón también es utilizado como material de construcción en formas prefabricadas. Para ello, el hormigón se coloca en moldes y se deja secar, formando bloques que son transportados más tarde a pie de obra. El hormigón puede ser prefabricado de muchas formas y dimensiones, y a menudo en forma de ladrillo. Cada "ladrillo" pesa cerca de 13,6 kg y mide alrededor de 20 por 40 cm. En la práctica es posible



Sección de una viga de hormigón armado. El hierro se ha introducido en la masa de hormigón mediante barras perimetrales de un diámetro grueso y barras transversales más finas. En el círculo, vista en aumento del hormigón de la viga. Arriba, composición de un metro cúbico de hormigón con las diversas fracciones de cemento en función de la resistencia que se quiera obtener y de su consistencia.



prefabricar objetos de cualquier forma y dimensión. Entre los productos prefabricados se puede disponer de columnas, tubos, moldes, vigas, escaleras, estanques para aves, traviesas de vía y depósitos sépticos. A veces se producen también bloques prefabricados mayores para grandes proyectos de construcción, como los enormes bloques de 25 toneladas utilizados por los técnicos en la construcción del muelle de Puerto Said (Egipto).

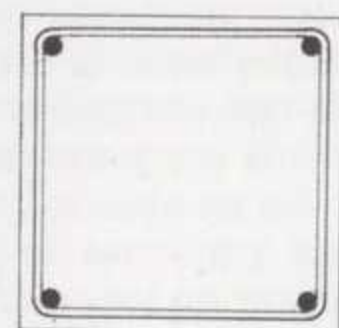
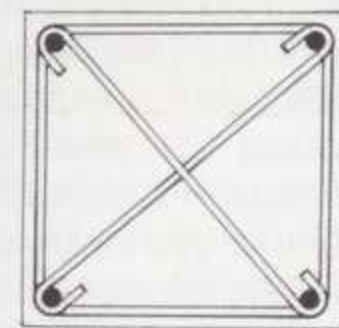
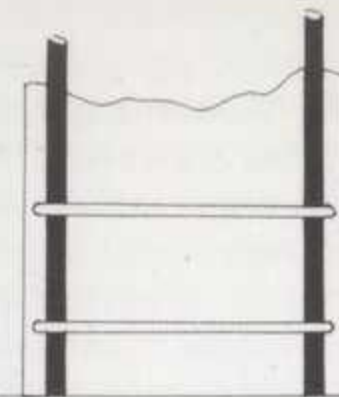
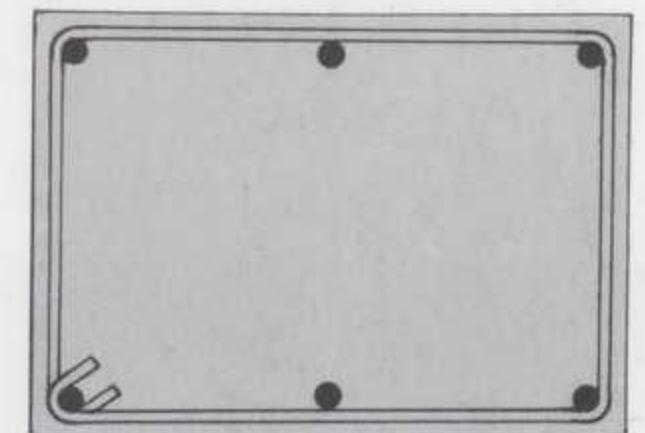
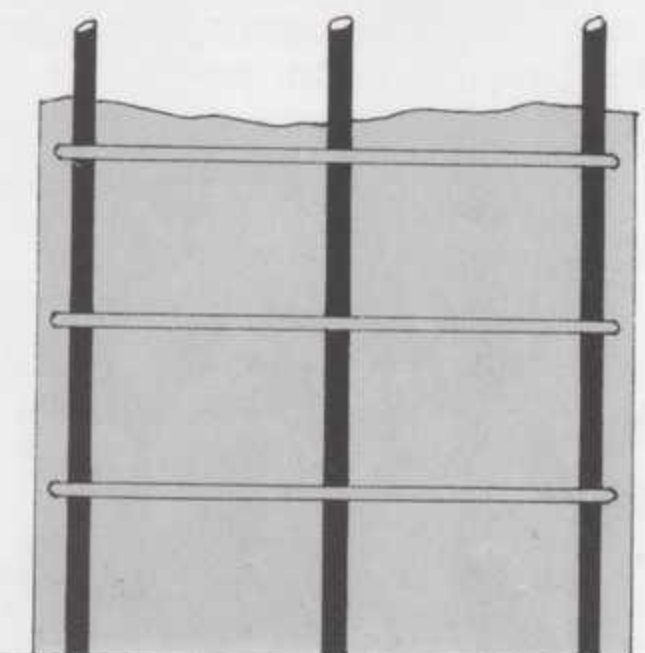
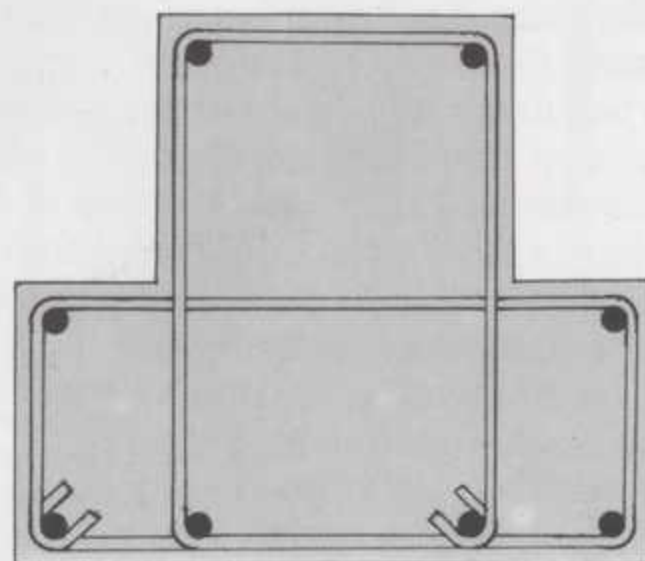
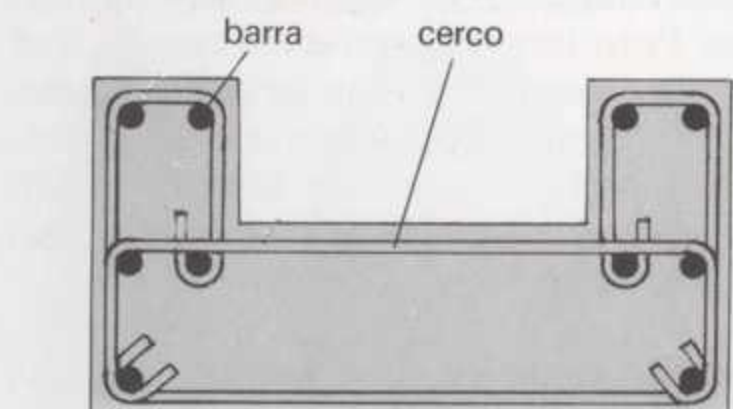
Limitaciones del hormigón El hormigón tiene una altísima resistencia a la compresión, o capacidad de tolerar una carga que gravita sobre él, pero su resistencia a la rotura por tracción o esfuerzo cortante es relativamente baja. Su comportamiento puede ser comparado con el de una pila de monedas, capaz de sostener un ladrillo u otro objeto pesado colocado encima, pero que se derrumba cuando se la empuja lateralmente. El hormigón común puede resistir una compresión de 280 a 560 kg/cm², pero sólo aguanta una décima parte de ese valor a la tracción. Esto hace que sea muy eficaz para sostener las cargas típicas de los diques, de las presas, de los cimientos de las carreteras y de los pilares, pero inadecuado para empleos en que puede estar sometido a tracción.

Hormigón armado, hormigón pretensado, hormigón polímero Para evitar la limitada resistencia del hormigón a la tracción, los técnicos han optado por reforzarlo mediante barras o mallas metálicas —con mayor resistencia a la tracción— durante su endurecimiento. Aunque muchos materiales, incluido el bambú, han sido aceptados para este uso, el acero es el material más comúnmente utilizado para el hormigón armado. Una razón para ello consiste en el hecho de que el acero y el hormigón, cuando son calentados y enfriados, se dilatan y contraen casi del mismo modo, lo que reduce el riesgo de que se produzcan grietas.

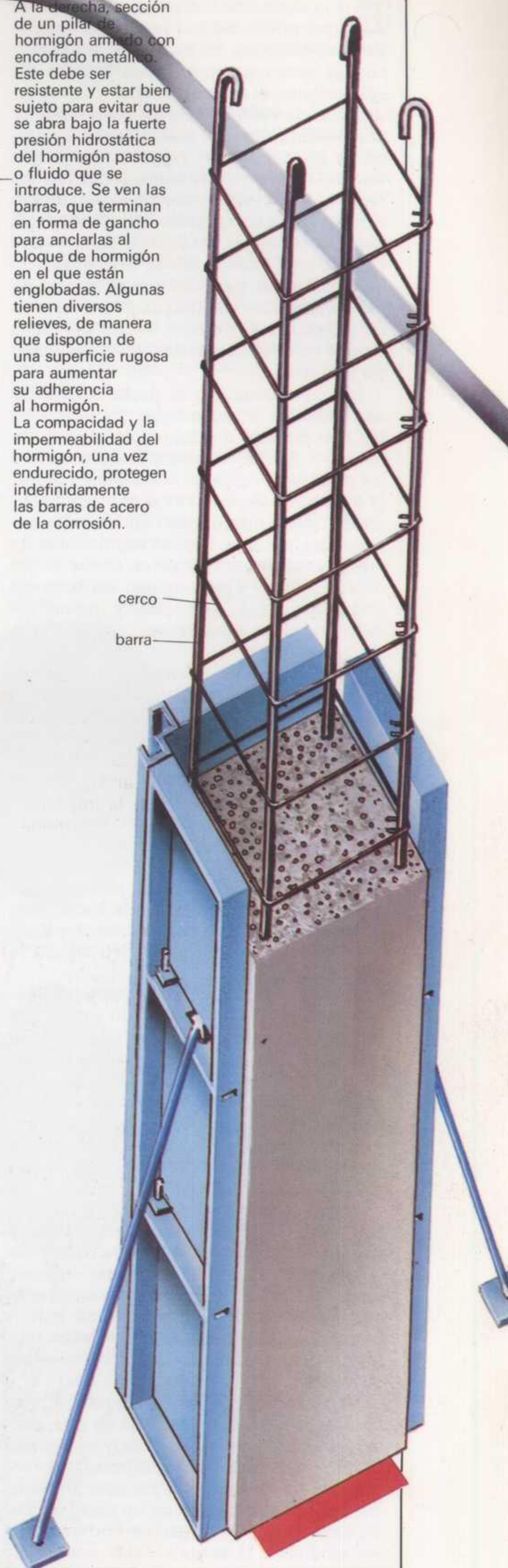
La construcción de elementos de hormigón armado requiere diversas fases de trabajo. El proyecto exige antes de todo un cálculo riguroso de los esfuerzos a los que el elemento estará sometido, cálculo que es tanto más difícil cuanto más se aleje la forma de la viga de la simplicidad del paralelepípedo. Una vez conocidos los esfuerzos sobre la viga, se pasa a dimensionar su sección y la de las barras que contendrá, de modo que puedan resistir los esfuerzos indicados por el cálculo.

En una segunda fase se prepara la denominada "disposición de la armadura", es decir, se dibuja la colocación en el interior de la viga de los diferentes elementos para que resistan los esfuerzos calculados. Todas las barras deberán mantenerse en su posición por un "cerco" redondo de acero más fino que da lugar a una "jaula". Esta armadura vendrá, en tal caso, colocada dentro del encofrado, en el que se verterá el hormigón.

A la derecha, ejemplos de atado de la armadura principal mediante cercos. Abajo, "disposición de la armadura", es decir, el diseño de las dimensiones y de la posición de las barras. Arriba, el caso de dos pilares con una sección más complicada que la rectangular y, debajo, planta y perfil de un gran pilar de sección rectangular. Las barras que corren paralelamente a la dirección del pilar (armadura principal) son pocas y gruesas; las que las rodean para evitar que se abran (cercos o estribos) son, sin embargo, mucho más finas. Sirven también para mantener unidas las barras antes y durante el hormigonado.



A la derecha, sección de un pilar de hormigón armado con encofrado metálico. Este debe ser resistente y estar bien sujeto para evitar que se abra bajo la fuerte presión hidrostática del hormigón pastoso o fluido que se introduce. Se ven las barras, que terminan en forma de gancho para anclarlas al bloque de hormigón en el que están englobadas. Algunas tienen diversos relieves, de manera que disponen de una superficie rugosa para aumentar su adherencia al hormigón. La compacidad y la impermeabilidad del hormigón, una vez endurecido, protegen indefinidamente las barras de acero de la corrosión.



Hormonas

En la actualidad, a pesar de que aún queda mucho por investigar acerca de las hormonas, se sabe que estas sustancias químicas constituyen la base del crecimiento, el mantenimiento y la reproducción de toda la vida animal y vegetal. Los descubrimientos realizados en el campo de la Endocrinología —la ciencia que estudia las hormonas segregadas por los órganos de nuestro cuerpo— han tenido consecuencias notables, tanto médicas como sociales; se trata de un campo muy amplio, que abarca desde el tratamiento de la diabetes, pasando por el control de los nacimientos, el tratamiento contra la esterilidad o el frenado de los procesos de envejecimiento, hasta la diferenciación de los sexos.

Las hormonas son el nudo central de una serie de enfermedades y ciclos vitales que durante muchos siglos fueron un misterio. A ellas se debe la floración de las plantas, la caída de las hojas en otoño, la migración de las aves o el crecimiento de un pelaje más espeso en los animales antes del invierno. Son las reguladoras de nuestro crecimiento y de nuestros ciclos reproductores, y determinan las fases de cada fenómeno: ovulación y menstruación, gestación y lactancia.

Funciones Las hormonas son sustancias segregadas por glándulas y órganos de nuestro cuerpo que son transportadas por la sangre a tejidos más o menos específicos, en los que influyen sobre el metabolismo y la formación o destrucción de las mismas células de los tejidos. El término *hormona* deriva del griego *hormón*, "excitar", y es que, en efecto, las hormonas generalmente estimulan la actividad. Pero en realidad, en una semilla, por ejemplo, existen tanto hormonas que la hacen germinar como otras que la mantienen inactiva hasta que llega el momento de la germinación.

Por lo tanto, dado que las hormonas tienen también la propiedad de inhibir los procesos, es más adecuado considerarlas "mensajeras químicas" que viajan de una zona a otra de nuestro organismo. Si se encuentran en suficiente cantidad y funcionan correctamente, regulan muchas funciones de nuestro organismo, tendiendo a mantener el equilibrio fisiológico u homeostasis.

No se puede hacer una descripción de una hormona típica, ya que la complejidad de sus funciones varía enormemente de unas a otras. Hay unas que parecen tener una sola función, mientras que otras parecen tener varias. Algunas actúan individualmente, mientras que otras tienen que actuar en combinación con determinadas hormonas.

La manera de actuar e interactuar que tienen las hormonas depende en gran parte del ambiente que contribuyen a crear dentro y alrededor del sistema endocrino, que en los seres humanos está formado por glándulas carentes de un canal excretor externo que segregan las hormonas directamente a la sangre. Estas hormonas,

transportadas por la sangre a los órganos "diana", son identificadas por las células de dichos órganos, que responden de la forma adecuada. A menudo las hormonas reenvían señales (*feed-back*) a la glándula secretora, indicando la necesidad de mayor o menor cantidad de esa misma hormona o de otra. Como es natural, el intercambio es muy complejo y se basa en la interacción entre varios sistemas.

Si las glándulas no producen una cantidad de hormonas suficiente, los órganos "diana" no pueden desempeñar sus funciones. Por ejemplo, si en una hembra el ovario no recibe gonadotropinas de la hipófisis, no puede formar huevos maduros, por lo que la gestación será imposible. La insuficiencia de hormonas también puede ser la causa de la aparición de enfermedades como la *diabetes mellitus*, provocada por una producción insuficiente de insulina por parte del páncreas.

Se ha aislado gran cantidad de hormonas, y muchas de ellas se han logrado sintetizar en laboratorio. Con ello se ha conseguido curar muchas insuficiencias hormonales mediante terapias a base de hormonas. Pero hay que tener en cuenta que cualquier intervención en el delicado sistema del organismo humano resulta siempre muy peligrosa; ciertas hormonas sintetizadas artificialmente, por ejemplo, han resultado ser cancerígenas.

Las hormonas de las plantas En las plantas las hormonas desempeñan una función más importante aún que en los animales. Como están desprovistas de sistema nervioso, en ellas la actividad de regulación y control la desempeñan exclusivamente las hormonas. Gracias a ellas las plantas sintonizan con su entorno, especialmente cuando se tienen que adaptar a los cambios estacionales.

En las plantas las hormonas están presentes en cantidades muy pequeñas. Así, por ejemplo, en la yema de una planta tropical se encuentra auxina —la más importante hormona del crecimiento— en una proporción de 6 microgramos por kilogramo. Por extrapolación, podríamos decir que la auxina presente en una pila de heno de 22 toneladas tendría las dimen-

siones de una aguja, y, sin embargo, las plantas no serían capaces de crecer sin este ingrediente.

Las hormonas vegetales se dividen en tres grupos principales: las *auxinas*, las *giberelinas* y las *citocininas*. La función de las auxinas es la de aumentar la plasticidad de las paredes celulares para estimular el crecimiento. Una de las auxinas sintetizadas en laboratorio, llamada *2,4-D*, se emplea normalmente como herbicida, ya que aplicada en grandes cantidades resulta tóxica.

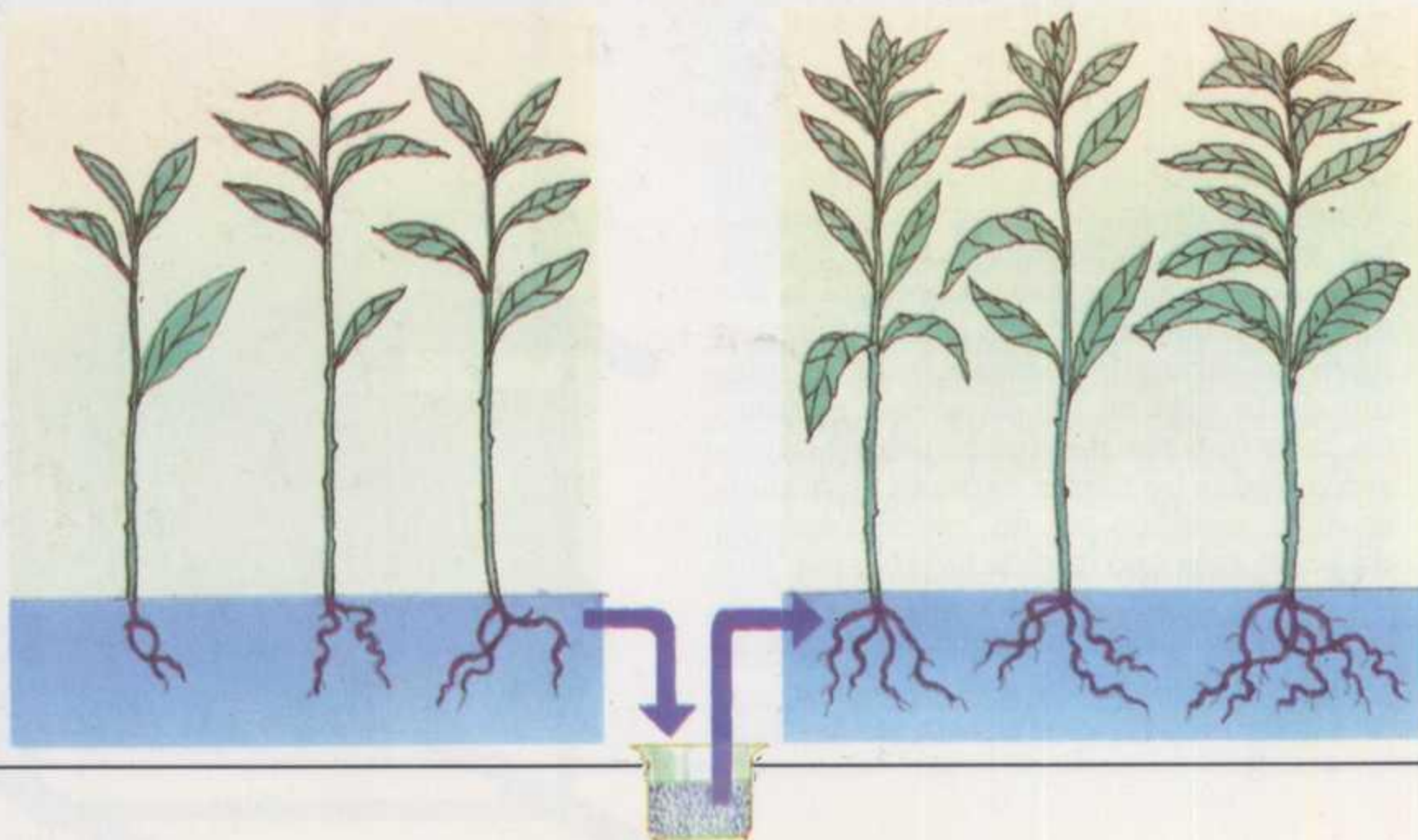
Las giberelinas son fundamentales para el crecimiento inicial de los embriones vegetales y las plántulas. Estas hormonas estimulan la producción de azúcares y aminoácidos en las células, que serán consumidos por las plántulas en su crecimiento.

El nombre de *citocininas* deriva de "citocinesis", término empleado para referirse a la división celular. En muchas plantas dichas hormonas estimulan la división celular y el crecimiento de las raíces, y frenan los procesos de envejecimiento.


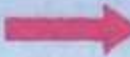
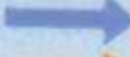

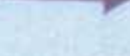
Casi todas las hormonas eran conocidas por sus efectos antes de que se aislaran en laboratorio. *Florigena* es el nombre que se da a una hormona que influye en la floración de las plantas, aun cuando en realidad todavía no se ha logrado aislarla. Se supone que la hormona florigena actúa en combinación con el citocromo, la sustancia que percibe la luz y hace saltar el mecanismo de la floración. El etileno, otra importante hormona, es en realidad un hidrocarburo gaseoso, por lo que se emplea para la maduración artificial de algunos frutos, como los plátanos y los tomates.

Las hormonas de los insectos En los insectos, que forman el grupo de invertebrados más estudiado, se han aislado seis hormonas. Los insectos inmaduros crecen liberándose de vez en cuando de sus involucros externos, o exoesqueletos. En realidad, estas "envolturas" son disueltas o digeridas por unos enzimas activados por la hormona *ecdisona*, producida por una glándula en cuanto "nota" que el exoesqueleto se ha quedado pequeño.

El insecto atraviesa varios estadios ninfales (inmaduros), después de cada una





-  auxina
-  ácido giberélico
-  citoquinina
-  ácido abscísico
-  etileno

Efectos de un tipo determinado de hormonas, las auxinas, en el aligustre (página anterior). El uso de auxinas se ha generalizado ampliamente porque son capaces de favorecer la formación de raíces en los esquejes y la propagación vegetativa de las plantas. En el esquema de la página anterior se ilustra la modalidad de reacción de los esquejes de aligustre cuando se les somete al método de inmersión rápida (un segmento de 2 cm del extremo cortado se sumerge en una

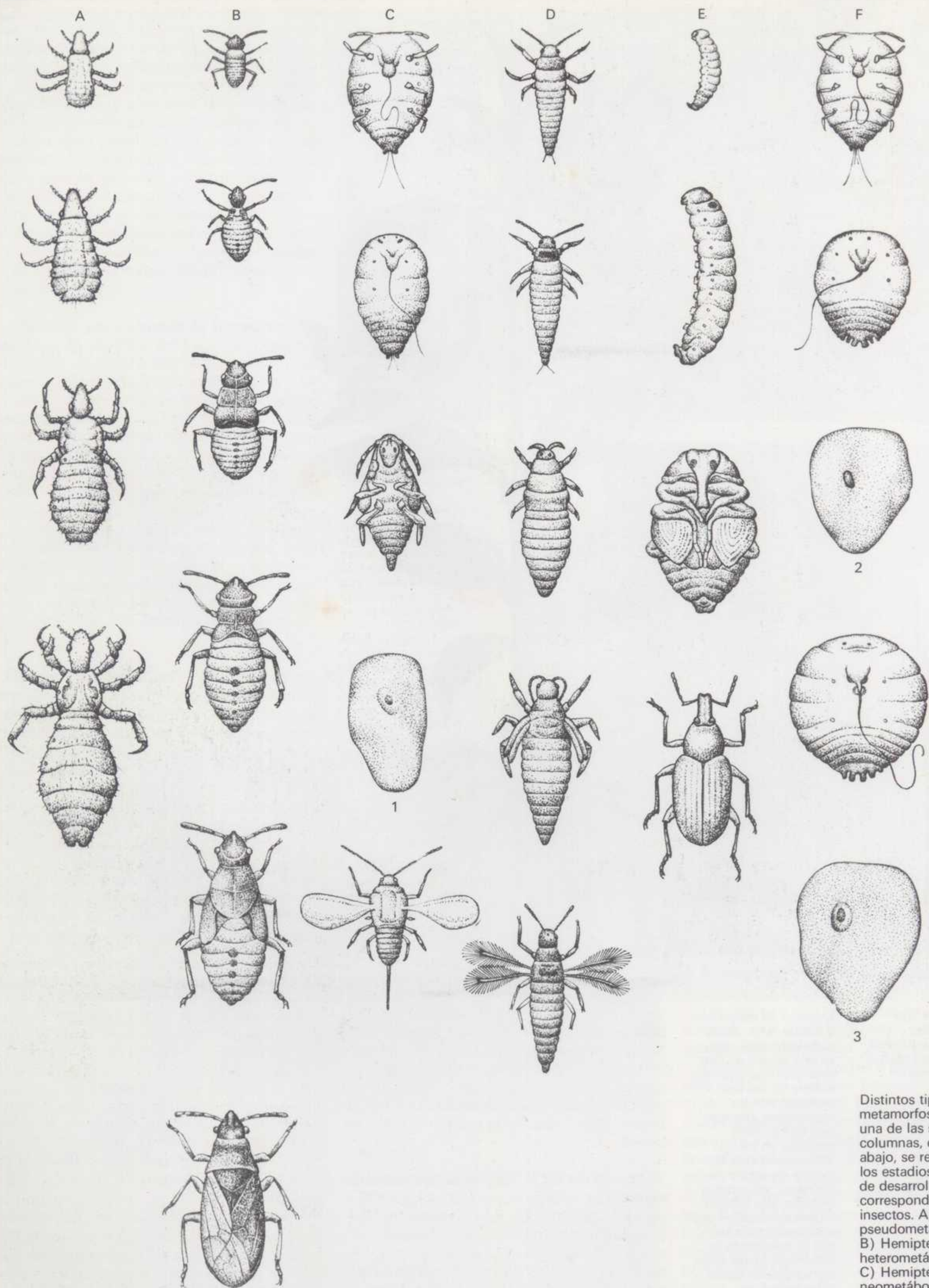
solución de etanol con 0,1% de NAA, ácido naftalenacético, que es una auxina de tipo sintético): de izquierda a derecha, los tres primeros dibujos representan esquejes que no han sido tratados, en los que se hace evidente el escaso desarrollo de las raíces; en cambio, los otros tres dibujos muestran esquejes que sí han sido tratados con el método de la inmersión rápida antes del trasplante. Sobre estas líneas, las principales interacciones hormonales en una planta angiosperma.

de las mudas, antes de realizarse la metamorfosis completa de larva a insecto adulto. Una hormona juvenil regula el desarrollo inicial y está presente, muy concentrada, en las primeras mudas, para acabar disminuyendo y desapareciendo en la última muda, antes de la transformación en insecto adulto.

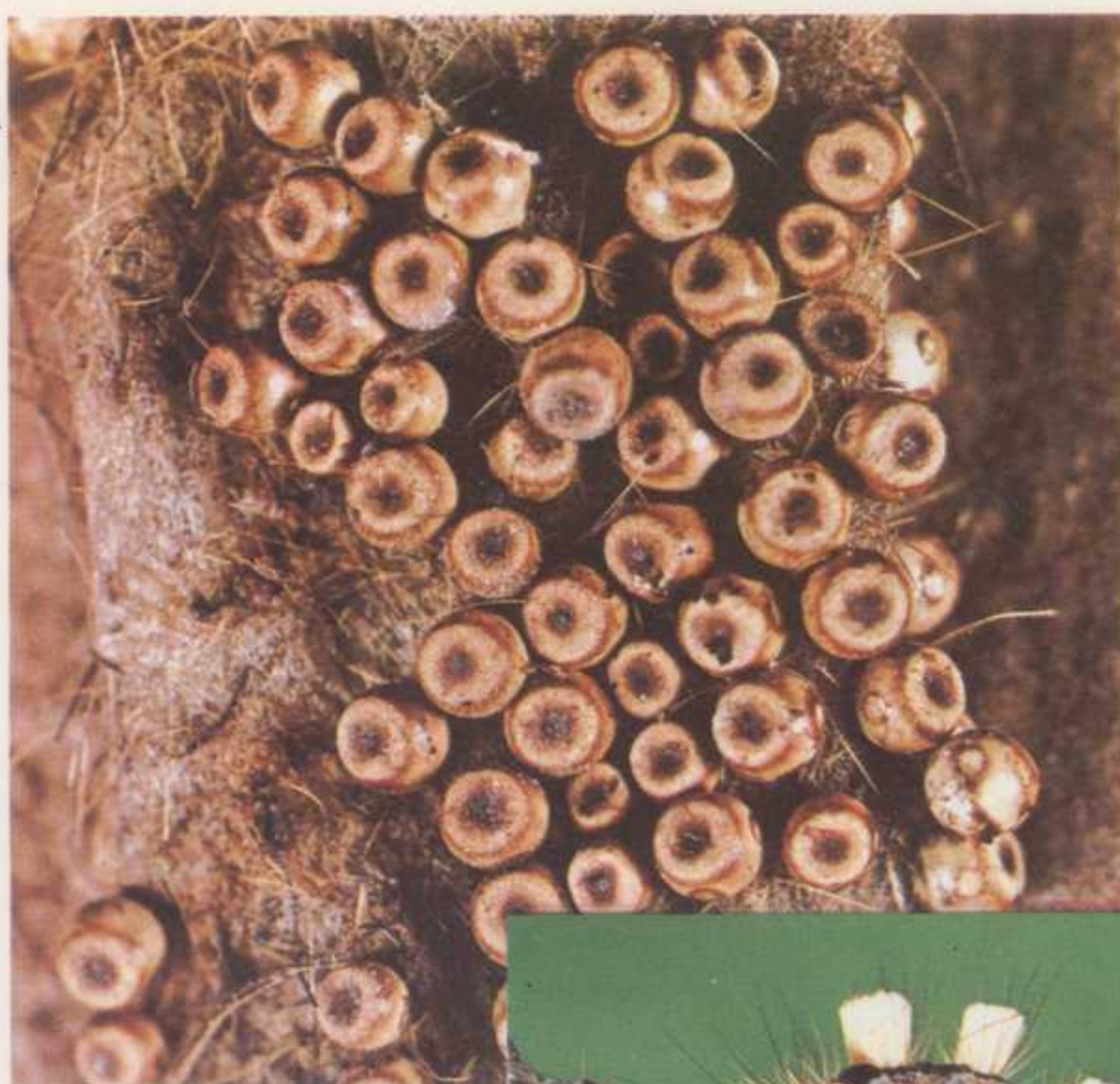
Acción de las hormonas en los animales superiores El principal factor que influye en la producción de hormonas en muchas plantas y animales es la duración del día solar. Como respuesta a los cambios de la luz solar, en ciertos animales se estimula el crecimiento del pelo o la desaceleración del metabolismo para el letargo, con bastante antelación al inicio propiamente dicho de la estación fría.

Las aves de las regiones septentrionales comen en abundancia al llegar el final del verano y empezar el otoño, y cuando perciben visualmente que los días son más cortos, el sistema endocrino recibe unos impulsos nerviosos y libera hormonas que dan lugar a un estado de "intranquilidad" migratoria y al impulso de volar hacia regiones más cálidas, viaje para el que ya se han preparado alimentándose en abundancia.

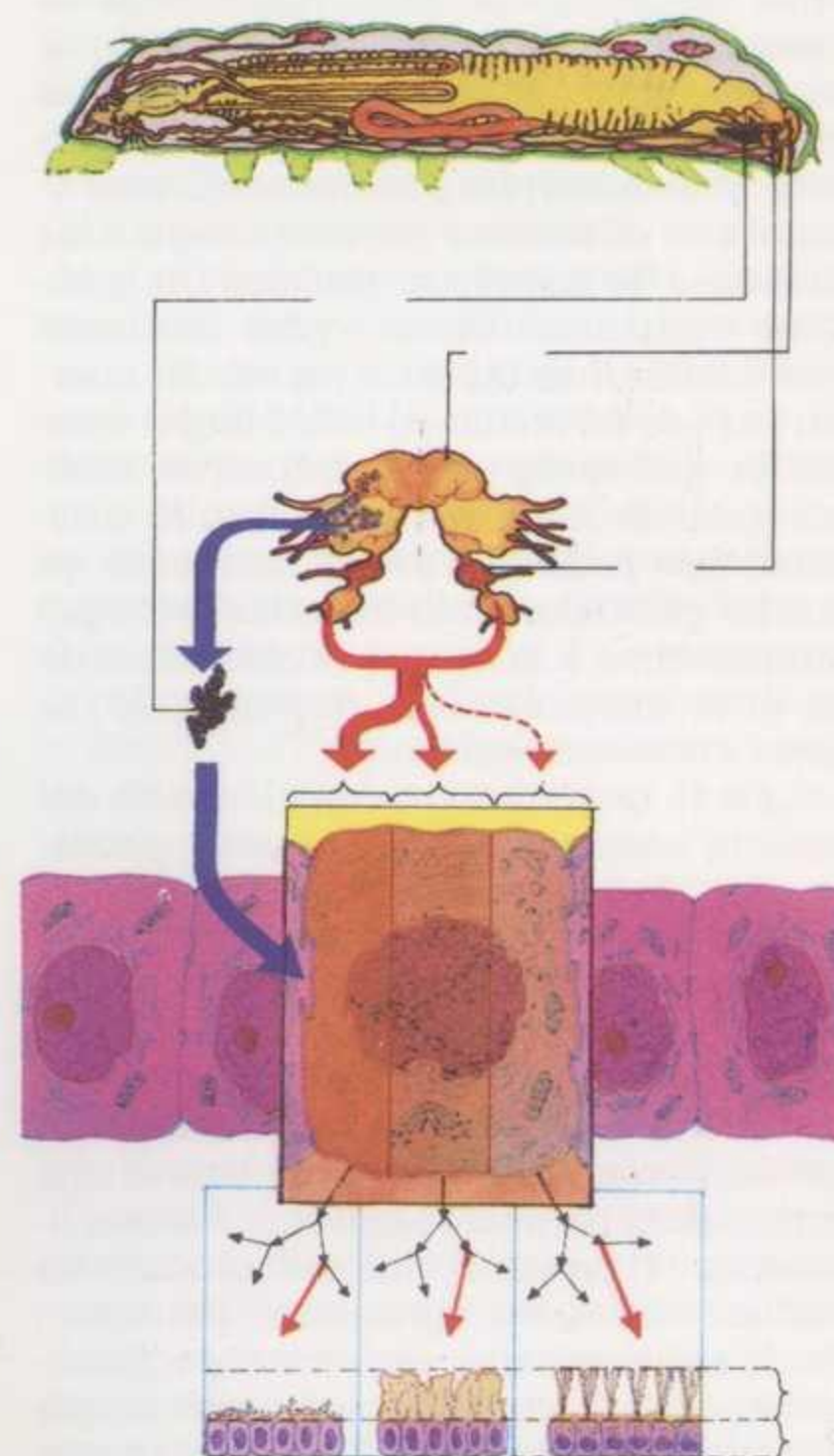
Ciertas actividades hormonales tienen, al mismo tiempo, una función normal y otra autodestructora. Esta situación se puede encontrar en el ciclo reproductor del salmón del Pacífico. Cuando tiene dos o tres años, el "reloj biológico" del salmón marca el impulso para el desove. El pez deja el océano y se dirige hacia los ríos,



Distintos tipos de metamorfosis: en cada una de las seis columnas, de arriba a abajo, se representan los estadios sucesivos de desarrollo de los correspondientes insectos. A) Anopluro pseudometábolo; B) Hemipteroideo heterometábolo; C) Hemipteroideo neometábolo; D) Tisanóptero neometábolo; E) Coleóptero holometábolo; F) Coleóptero holometábolo.



Influencias hormonales en el crecimiento y la diferenciación: debido a la acción de las hormonas, el organismo presenta marcadas variaciones que modifican totalmente formas y estructuras, hasta llegar al desarrollo definitivo (en el esquema de la derecha se muestran dichas influencias, esta vez referidas al proceso de diferenciación de los tejidos para las diversas partes del cuerpo de un gusano).



F) Hemipteroideo catametábolo (1, 2 y 3: folículo protector de las respectivas formas dibujadas encima). Sobre estas líneas, los sucesivos estadios de desarrollo de una mariposa, la *Orgyia antiqua*. Las mariposas, al igual que otros grupos de insectos superiores, experimentan una metamorfosis completa, como puede verse en la secuencia superior. En los

Holometábolos tiene lugar una serie de transformaciones muy evidentes en el estadio de crisálida, con la destrucción de muchas estructuras y la aparición de otras; es decir, en dicha fase —de reposo aparente— se dan procesos de destrucción y regeneración de tejidos, y con ello se genera una diferencia muy marcada entre la larva madura y el imago.

de agua dulce. Sin detenerse a comer ni a descansar, nada contra la corriente hacia el lugar en el que efectuará el desove, que normalmente es el mismo en el que él ha nacido. Una vez allí, en un estado de colapso físico, pone los huevos y lo más probable es que muera antes de alcanzar de nuevo el océano.

Ese rápido ciclo, durante el cual el pez envejece varios años en el lapso de unos pocos días, ha sido estudiado en relación con el sistema endocrino. En los peces exhaustos recogidos en los lugares de desove se han descubierto notables dese-

quilibrios hormonales, como la superproducción de hormonas hipofisarias, el bloqueo de las glándulas suprarrenales y, consecuentemente, la ausencia de las hormonas que les protegen contra las infecciones.

La autodestrucción "normal" del salmón del Pacífico ha ayudado a los endocrinólogos a entender el complejo papel de las hormonas en el proceso de envejecimiento de los seres humanos, que actualmente constituye uno de los principales campos de investigación acerca de las funciones desempeñadas por las hormonas.



Las hormonas del hombre En los animales superiores, y especialmente en los seres humanos, la función hormonal es mucho más compleja, y llevada a cabo por un sistema de glándulas interrelacionadas que segregan hormonas. Este sistema recibe el nombre de *sistema endocrino* y, junto con el sistema nervioso, regula las funciones de nuestro organismo. Las glándulas endocrinas tienen varias funciones y se localizan en distintas partes del cuerpo; por eso ha resultado difícil llegar a entender que realmente formaban un sistema. Igual de complicado ha sido el aislamiento de cada una de las hormonas, ya que las glándulas endocrinas las segregan directamente a la sangre (a diferencia de las otras glándulas, que disponen de canales excretores externos).

La más importante de las glándulas del sistema endocrino es la glándula pituitaria o hipófisis, que está formada por dos lóbulos, el lóbulo anterior (adenohipófisis) y el lóbulo posterior (neurohipófisis).

El lóbulo posterior de la mencionada hipófisis está conectado directamente con el sistema nervioso. Los axones de células nerviosas situadas en el hipotálamo terminan en el lóbulo posterior. Allí son liberadas algunas hormonas producidas por las células del hipotálamo: por ejemplo, la oxitocina, que provoca las contracciones del útero, y la vasopresina, que provoca la constricción de las arterias y la retención de agua por los riñones.

El lóbulo anterior, o adenohipófisis es una glándula propiamente dicha. Las secreciones del hipotálamo viajan a través de un sistema especial para la producción de varias hormonas. Estas últimas son de dos tipos: *tisulares*, las que actúan sobre los tejidos, y *glandulares*, las que actúan específicamente sobre otras glándulas reguladas por la hipófisis.

La principal hormona tisular es la *hormona del crecimiento* (STH o GH), que, además de otras funciones, regula el crecimiento de los huesos. La superproducción de la hormona del crecimiento provocará formas de gigantismo, mientras que una secreción insuficiente provocará formas de enanismo. Otra hormona, la *prolactina*, estimula la producción de leche en la mama materna al término del embarazo. La hormona *melanotropa*, o MSH (estimulante de los melanocitos), es la que determina la distribución del pigmento cutáneo.

Las cuatro hormonas glandulares conocidas son la *tireotropa* (TSH), que estimula la producción de tiroxina en el tiroides; la *adrenocorticotropa* (ACTH), que estimula la actividad de la corteza suprarrenal; la *foliculoestimulante* (FSH) y la *luteinizante* (LH), hormonas que la hipófisis comienza a producir en el período de la pubertad y posteriormente en ciclos regulares para controlar el desarrollo sexual y la reproducción.

Las hormonas LH y FSH actúan, respectivamente, en los ovarios y los testículos como respuesta a las señales recibidas por el hipotálamo.

Otras glándulas endocrinas La tiroides, llamada también *glándula de la energía*, está situada en la base del cuello. Sus secreciones de *tiroxina* y *triiodotironina*, que actúan sobre el metabolismo de todas las células del organismo, son unas de las primeras secreciones de los recién nacidos. Una insuficiente producción de tiroxina tiende a frenar el metabolismo, provocando un aumento de peso; mientras que una producción excesiva provoca una continua sensación de hambre, pero sin aumento de peso. La tiroxina actúa en combinación con las gonadotropinas de la hipófisis, influyendo en la fertilidad femenina. Un clima frío y el *stress* pueden provocar la hipertrofia de la glándula. La hipertrofia anormal de la tiroides, llamada *bocio*, se puede deber a la falta de yodo en la alimentación, o bien a una enfermedad de la misma glándula.

Las dos glándulas suprarrenales producen tres series de hormonas que son fundamentales para nuestra supervivencia. La *adrenalina* es la causante de las llamadas *reacciones de emergencia*, es decir, la capacidad de reacción del cuerpo ante varios estímulos: esfuerzos físicos repentinos, miedo, dolor, ira, etc. La corteza suprarrenal libera más de 50 hormonas, llamadas *corticoides*. La mayor parte de las hormonas son aminoácidos o proteínas, pero los corticoides son esteroides (muy diferenciados en su estructura molecular), al igual que las hormonas sexuales *progesterona* y *testosterona*, segregadas por las gónadas. Regulan la composición de la sangre y la actividad renal.

Otros corticoides son los *andrógenos*, las hormonas sexuales masculinas que determinan la aparición de los caracteres sexuales secundarios. Los *mineralcorticoides*, implicados en los mecanismos de mantenimiento de la homeostasis —equilibrio en la composición de los líquidos del organismo—, son otro ejemplo de este tipo de hormonas. Otro grupo de corticoides son los *glucocorticoides*, como la *cortisona*, con numerosos efectos sobre el metabolismo, los vasos sanguíneos y la función renal. La terapia sustitutiva de estas hormonas resulta muy difícil, ya que un suministro excesivo puede dar lugar a reacciones negativas. Las cuatro glándulas paratiroides, que tienen las dimensiones de un guisante, segregan la *parathormona*, que regula el equilibrio del calcio y los fosfatos entre la sangre y los tejidos. Se ha descubierto que la tiroides segrega la *calcitonina* —antagonista de la parathormona—, que disminuye la concentración de calcio en la sangre. Ambas hormonas regulan los equilibrios químicos por medio de un mecanismo de *feed-back*.

El timo está situado en la parte superior del tórax. Esta glándula regula parcialmente el sistema inmunitario del organismo, y segrega una hormona llamada *timosina*, sin la cual los linfocitos de la sangre —fundamentales para las reacciones inmunitarias—, no pueden madurar.

La glándula pineal, o epífisis, segrega la hormona *metalonina*, cuya secreción está

ligada a la luz, es decir, a fotorreacciones parecidas a las que se han observado en las aves que se preparan a migrar y en otros animales que entran en el ciclo del *estro* (del celo). Su función en el hombre no se ha dilucidado aún con exactitud.

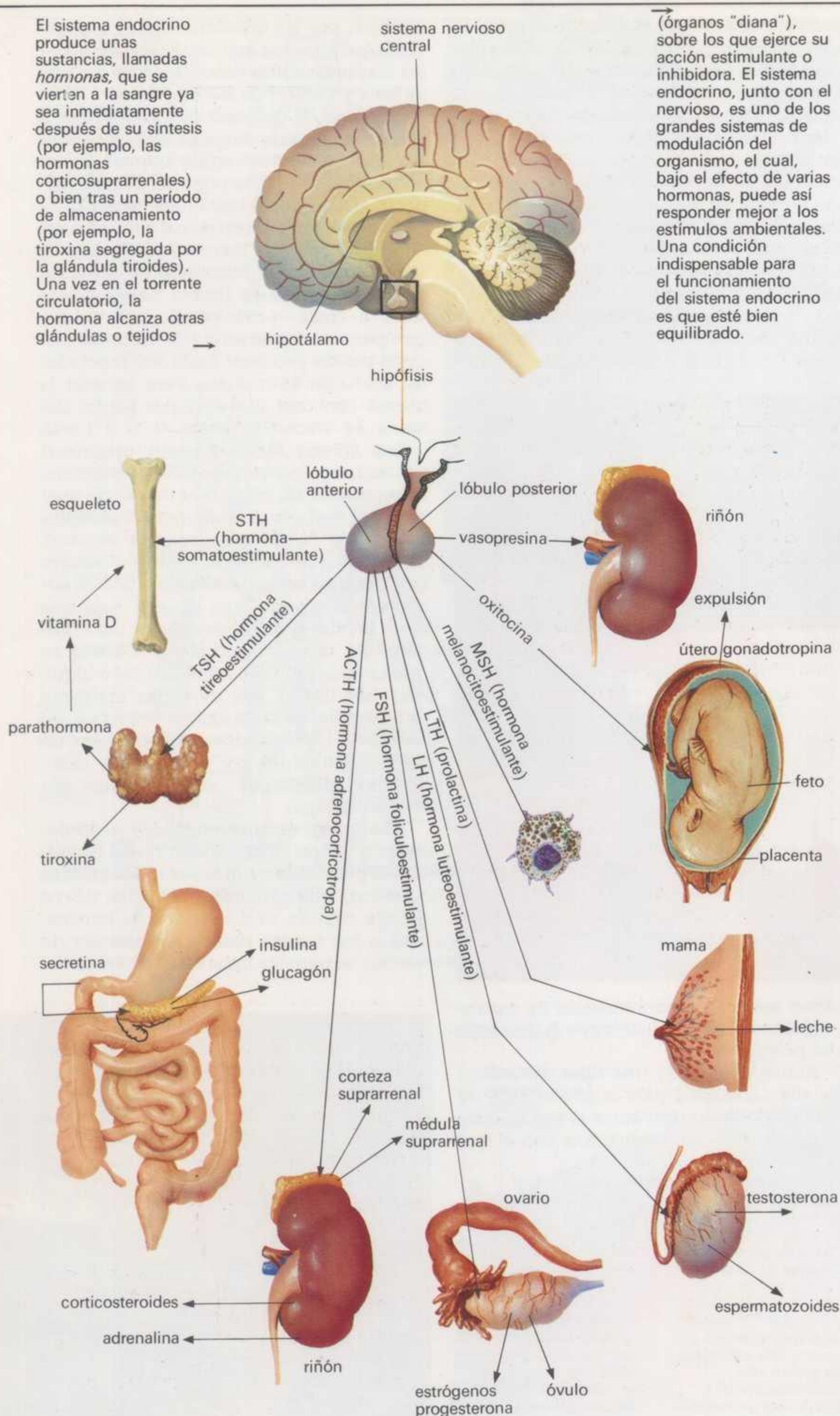
La relación entre el páncreas y la diabetes fue descubierta en 1899 por dos médicos alemanes. En 1921 fue descubierta la *insulina* y empleada por primera vez para curar la diabetes. Se trata de la hormona segregada por el páncreas. La diabetes es una enfermedad caracterizada por un nivel de azúcar en la sangre demasiado alto; la insulina disminuye ese nivel actuando sobre la producción y el metabolismo de la glucosa. La insuficiente secreción de insulina disminuye la retención de la glucosa por parte de las células; ésta, aun en grandes cantidades, permanece en la sangre y es eliminada con la orina, dejando a las células sin alimento. La insulina permite a las células absorber la glucosa, disminuyendo su concentración en la sangre y provocando en el hígado y en los músculos la transformación de esa glucosa en glucógeno.

El páncreas también segrega *glucagón*, tan importante como la insulina para la regulación de la concentración de glucosa en la sangre. Por su función reguladora de la tasa de azúcar en la sangre, efectuada por medio de hormonas, el páncreas recibe el nombre de órgano regulador de la glucosa (glucostato).

Hormonas de la reproducción Probablemente, las interacciones hormonales más interesantes y más complejas son las que regulan la maduración sexual y la reproducción de los mamíferos. Aunque hay muchas otras glándulas que, secundariamente, intervienen en este proceso, la actividad fundamental se centra en las gónadas, que son los testículos en los machos y los ovarios en las hembras. La hipófisis, como ya hemos dicho, segrega FSH y LH en el período de la pubertad. En los machos estas hormonas provocan la maduración de los testículos; éstos forman los espermatozoides y la hormona sexual *testosterona*, que a su vez provoca el crecimiento de los músculos y del vello, el cambio de la voz (que se hace más grave) y el desarrollo de los órganos genitales y la próstata.

En las hembras, la FSH y la LH provocan la maduración de los ovarios; éstos producen células huevo y dos hormonas, *estrógenos* y *progesterona*. Los estrógenos son los responsables de los caracteres sexuales secundarios, del crecimiento del vello en el pubis, del desarrollo de las mamas, del aumento de las dimensiones del útero y la vagina, y del inicio del ciclo menstrual. Estas hormonas sexuales básicas (junto con otras que se producen en fases concretas del *estro*) hacen que las hembras sean sexualmente maduras y aptas para la reproducción. La forma en que se preparan para la gestación varía según las especies.

Cada una de las fases del ciclo repro-



ductor de los seres humanos está regulada por hormonas. En las mujeres, el ciclo de la fecundidad comienza cuando la hipófisis segrega la FSH, que estimula los folículos del ovario —que contienen óvulos inactivos—, y la LH, que da inicio a la producción de estrógenos en los ovarios. Los

estrógenos también provocan el espesamiento de la mucosa del útero. La hipófisis es controlada por el hipotálamo, que disminuye la producción de FSH cuando los estrógenos envían señales (*feed-back*) negativas; la disminución de FSH hace que un solo óvulo llegue a la maduración.

Cuando la concentración de LH alcanza un determinado nivel, el folículo se rompe, liberando el óvulo maduro. El folículo se transforma en un órgano amarillento, llamado *corpo lúteo*, que segrega estrógenos y la hormona lútea progesterona. Esta, a su vez, prepara al útero para que pueda recibir el embrión en el caso de que el óvulo sea fecundado. En caso contrario, tiene lugar un *feed-back* negativo, y el alto nivel de progesterona inhibe la secreción de LH, provocando la atrofia del cuerpo lúteo y bloqueando la secreción de progesterona. Entonces la mucosa del útero (o endometrio), que se había espesado, se desintegra dando lugar al flujo de sangre y tejidos. Al desaparecer la progesterona, vuelve a comenzar la secreción de FSH y con ella un nuevo ciclo de 28 días. Si es fecundado el óvulo maduro, se implanta en la mucosa del útero, conservada gracias al cuerpo lúteo. La placenta, órgano de transmisión entre el embrión y la madre, asume el papel del cuerpo lúteo en la producción de progesterona. Estos dos órganos se definen como glándulas temporales del sistema endocrino. El cuerpo lúteo se mantiene durante 10 semanas y la placenta el tiempo de la gestación, siendo expulsada con el parto.

Los estrógenos y la progesterona impiden, por tanto, que durante el embarazo tenga lugar la ovulación; cuando fueron sintetizados artificialmente, se pudo producir la píldora anticonceptiva (en realidad, antiovulatoria). Esta píldora engaña al organismo, "haciéndole creer que está embarazado" e impidiendo la ovulación.

Parto Poco antes del parto la placenta produce mayor cantidad de estrógenos, lo que provoca las contracciones uterinas, que además están estimuladas por la oxitocina segregada por la hipófisis. También la placenta y los ovarios segregan una hormona llamada *relaxina*, que dilata el útero y facilita el paso del niño. A las 24 horas del parto, la madre empieza a dar el pecho a su hijo. La succión estimula las glándulas mamarias, que producen leche. La succión estimula también el hipotálamo, que a su vez estimula la hipófisis posterior, que segrega oxitocina. La oxitocina provoca la contracción de los alvéolos de la mama, empujando la leche hacia los pezones.

Como hemos podido ver, las hormonas son fundamentales para todo el complicado ciclo reproductor. En cada una de las fases intervienen varias sustancias químicas, que unas veces actúan en combinación y otras son antagónicas. Por eso no nos debe sorprender que la Endocrinología sea en la actualidad uno de los campos de investigación más activos de la Medicina.

Véase **Adolescencia; Agricultura; Animales; Cerebro; Crecimiento; Cuerpo humano; Diabetes; Embrión y Embriología; Endocrino, sistema; Fecundación e inseminación artificial; Fisiología; Glándula; Glándulas mamarias; Glándulas suprarrenales; Glucógeno; Hipófisis; Insectos; Menstruación; Páncreas; Tiroides**

Horno

Los hornos desempeñan un papel muy importante en la industria, pues la mayor parte de las reacciones químicas que afectan a los procesos industriales se desarrollan con absorción de calor. Se emplean para generar electricidad, para refinar el petróleo crudo y los productos químicos y para calentar los metales, el vidrio y las materias plásticas a las temperaturas adecuadas para las operaciones de modelado. Los problemas recientes derivados de la limitación en la disponibilidad de materias primas y de la contaminación no han llegado a impedir que los nuevos progresos en la tecnología metalúrgica y de las altas temperaturas hayan

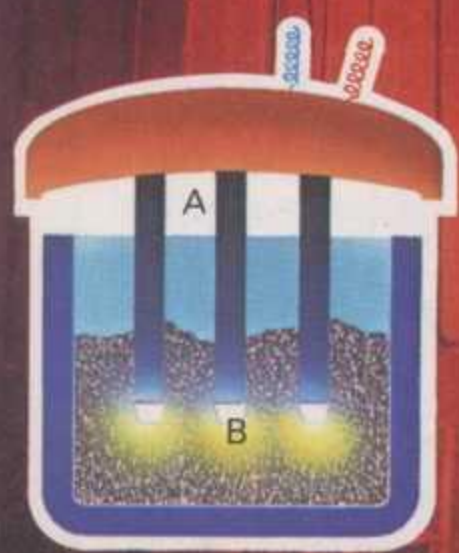
para la extracción y el refinado del hierro, es un horno de unos 25 a 40 m de alto formado por dos troncos de cono unidos por su base más ancha, denominada *vientre*. El coque, forma elaborada del carbón, se vierte junto con los materiales fundentes en el *tragante*, provisto de un cierre especial que no deja escapar los gases cuando se efectúa la carga, mientras que se hace entrar un chorro de aire caliente en la mezcla en combustión, a través de aberturas situadas en la parte inferior del horno llamadas *toberas*. El aire es precalentado en otra cámara mediante los gases de salida del horno alto. Este tipo de horno trabaja sin interrupción, cesando su acti-

trabajan, por las relaciones entre sus materias primas, por las regulaciones y por los dispositivos de tratamiento de los materiales y control de las emisiones.

El *horno de oxígeno*, que se empezó a utilizar en Austria después de la II Guerra Mundial, se ha convertido hoy en día en el tipo de horno más popular, incluso respecto al tradicional Martin-Siemens. El funcionamiento del horno de oxígeno se basa en el principio del convertidor Bessemer: así, el oxígeno se introduce en el horno que tiene forma de taza, a través de un tubo, o *lanza*, —refrigerado por agua— que penetra desde arriba. El horno de oxígeno puede producir hasta 300 toneladas de acero en 45 minutos. Para obtener la misma cantidad con el horno Martin-Siemens se necesitan entre 5 y 8 horas.

Los *hornos Martin-Siemens* presentan, sin embargo, la ventaja de que eliminan la necesidad de refundir y refinar de nuevo los materiales. Son, además, preferibles para hacer fundir materiales no ferrosos, como los que contienen cobre y estaño. Estos hornos están constituidos por un largo rectángulo con una bóveda baja que tiene la misión de rebërverar el calor. Encima del material que se va a fundir se quema gas, petróleo combustible o alquitrán. Las llamas son avivadas mediante aire precalentado en ambos extremos del horno, en los llamados *recuperadores de calor*, constituidos por un muro de ladrillos, por medio del gas procedente del horno principal.

Los *hornos eléctricos de arco* se empezaron a utilizar originalmente para producir, en pequeñas cantidades (50 toneladas o menos) y de manera discontinua, aceros de alta calidad, como los aceros inoxidables o los aceros para la fabricación de utensilios; pero los tipos más recientes tie-



conducido a notables avances en la construcción de hornos.

Las paredes, el lecho de fusión y la bóveda de los hornos están constituidos por materiales refractarios, en general ladrillos refractarios de elevada resistencia al calor. Las paredes de los hornos de grandes dimensiones son en realidad enormes planchas de acero revestidas con material refractario, ya que estos materiales no son capaces de soportar grandes pesos. Las paredes se mantienen refrigeradas exteriormente mediante agua que corre por un sistema de tuberías instalado en el interior de las propias paredes.

El calor generado en los hornos se obtiene por diversos métodos que utilizan distintas fuentes: electricidad, combustibles oleosos, gas, carbón, leña o incluso productos de desecho como astillas de madera o desperdicios. Los materiales utilizados para la combustión pueden ser cargados directamente en el horno junto con los materiales que se quieren someter al calor, o bien alimentar el horno por medio de quemadores.

Hornos para producción de metales
El horno alto, utilizado desde el siglo XIV

vidad solamente para trabajos de mantenimiento o cuando disminuye la demanda del producto.

Actualmente, hay tres tipos de hornos de alta capacidad para la producción de acero; se diferencian entre sí por el diseño, por el tipo de combustible con el que

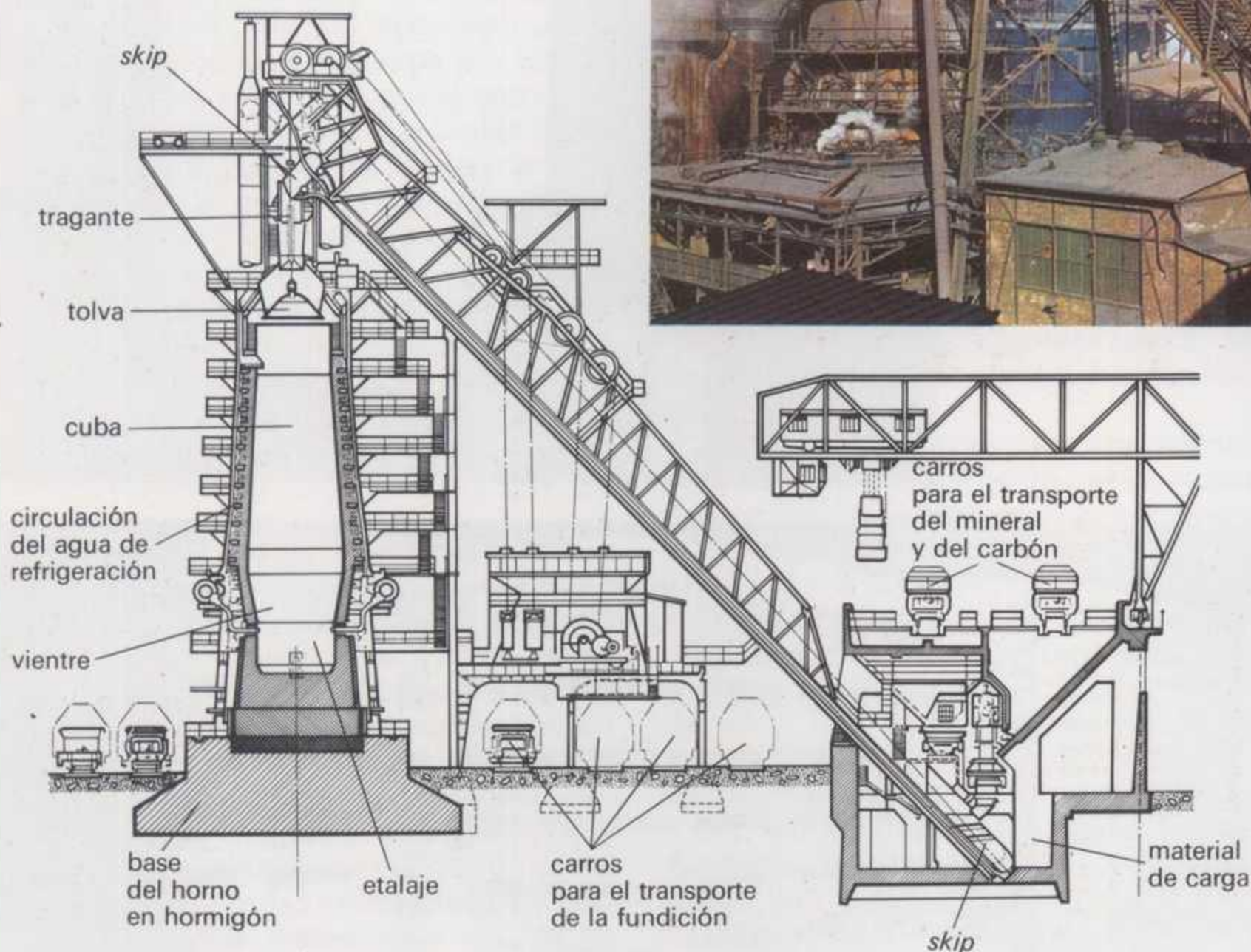
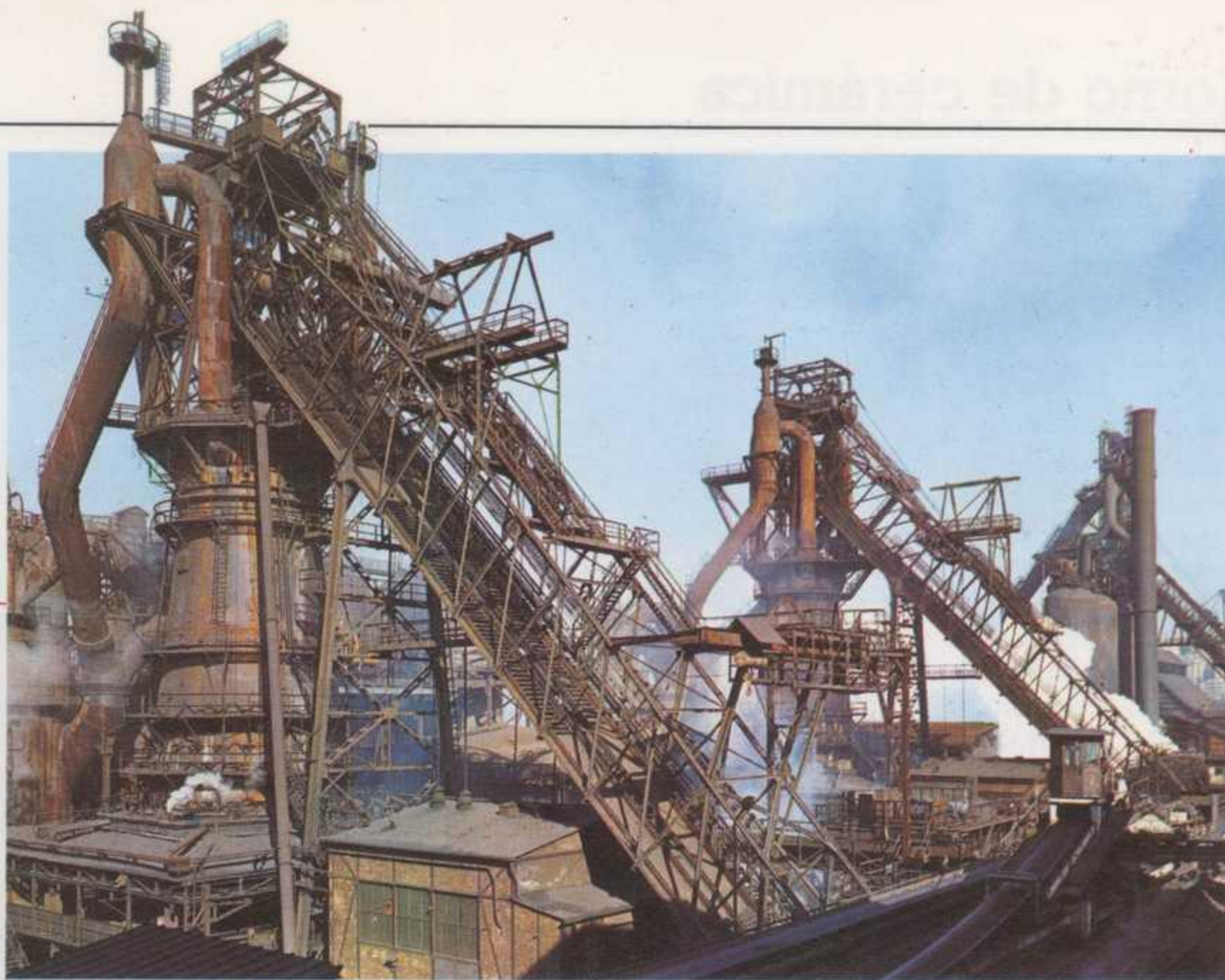
El horno eléctrico de arco empleado en metalurgia permite alcanzar temperaturas tan altas que son capaces de fundir cualquier sustancia. El principio (esquema del recuadro) consiste en el hecho de que al acercar dos electrodos de grafito (A) recorridos por una corriente a un material conductor de electricidad, se establece entre estos materiales un arco eléctrico, es decir, una descarga (B) que desarrolla temperaturas de hasta 4.000 °C. En la foto se pueden distinguir los grandes electrodos incandescentes

extraídos al final de una operación de fusión. Aquí al lado, un momento de comprobación de la temperatura del baño metálico. Para los aceros corrientes al carbono y de construcción, los procesos más utilizados son los que se realizan en hornos Martin-Siemens. En la página siguiente (abajo), esquema de un corte de horno Martin-Siemens en el que se pueden ver los componentes principales. En la puerta de carga existe generalmente una abertura que permite controlar desde el exterior la marcha del proceso.



A la derecha, tres hornos altos de un complejo industrial siderúrgico: el del centro se encuentra en fase de colada, y el vapor que se eleva desde la base está producido por el enfriamiento de las escorias. El esquema bajo estas líneas ilustra el dispositivo de carga de materiales de elaboración.

El material es transportado mediante carritos *skip* a la boca del horno, que se apoya en una sólida masa de hormigón, y distribuido uniformemente en él por medio de una tolva. El tronco de cono inferior o *etalaje* termina en un cilindro denominado *crisol*, en donde se reúnen todos los productos fundidos.



peciales de aleaciones, que se oxidarían en contacto con el aire, y para los tratamientos en caliente de piezas terminadas.

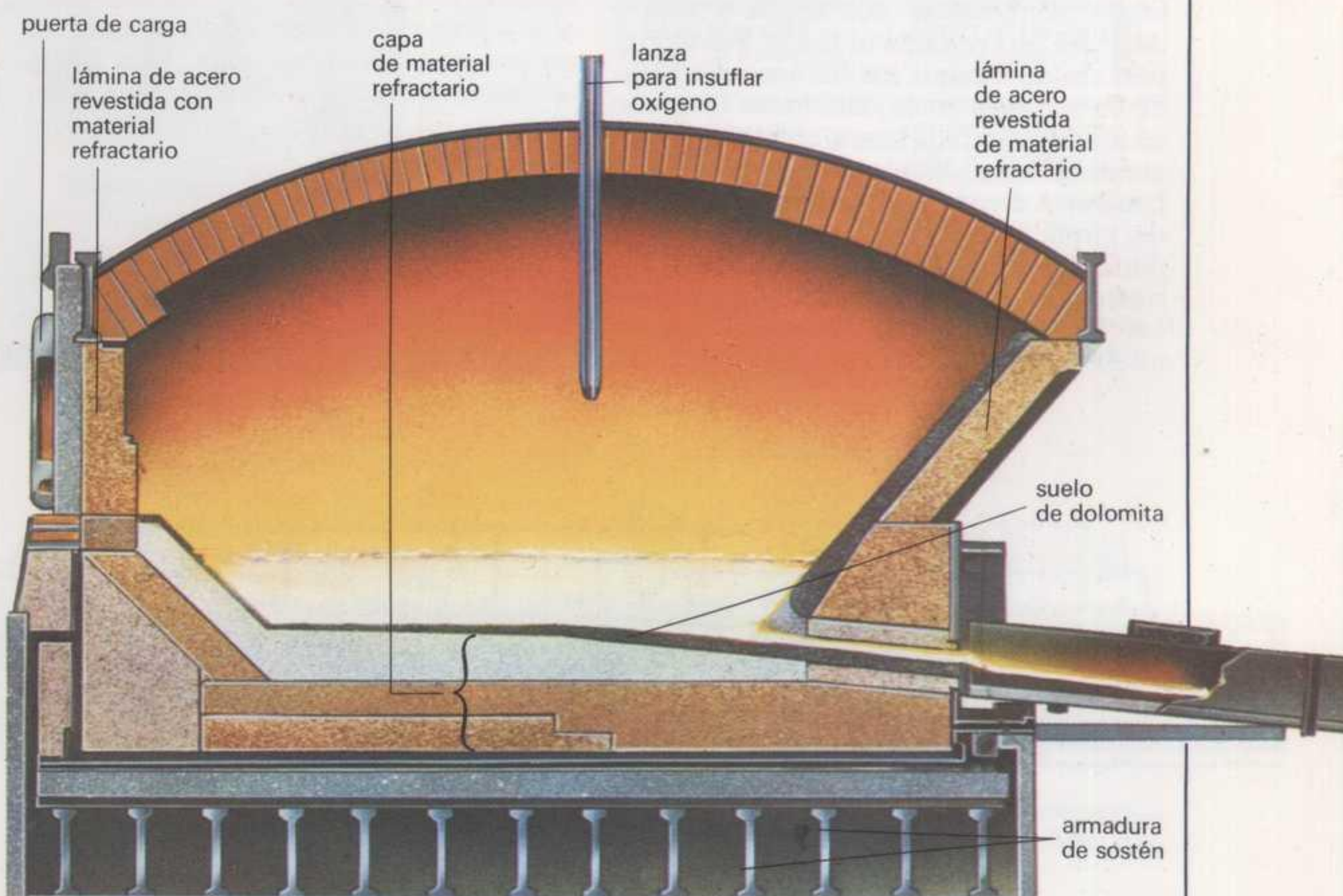
Los hornos de calentamiento progresivo se emplean para calentar —no para fundir— los metales en las operaciones de moldeado.

Los costes operativos son mucho más altos en los hornos que trabajan de forma discontinua —ya que deben ser calentados y enfriados en cada ciclo de trabajo— que en los hornos de actividad continua, en los cuales las piezas a calentar y que deben ser moldeadas se hacen avanzar a través de zonas a diferentes temperaturas por medio de ingeniosos dispositivos.

Véase **Aleación; Fundición y colada; Horno de cerámica; Metales, trabajo de los; Metalurgia**

nen una capacidad análoga a la de los hornos de oxígeno y con ellos se puede producir también acero al carbono. Aunque estos hornos consumen una potencia de 80.000 kilovoltios-amperios, son menos contaminantes que otros tipos de horno y pueden ser alimentados con cargas constituidas enteramente por material de desecho. Tres electrodos gigantes se extienden desde la bóveda del horno hasta casi tocar el material de desecho que se está fundiendo; así, el arco salta en el espacio entre el electrodo y el material.

Existen hornos de dimensiones más pequeñas, que utilizan materiales más costosos y de características rigurosamente controladas, para la producción de aceros especiales destinados a la tecnología aeroespacial: así, los hornos de inducción, en los cuales una bobina en espiral crea en el material cargado corrientes que generan resistencias; o bien, los hornos de haces electrónicos, en los cuales el metal, procedente en cascadas de pequeños desniveles, es calentado con haces de electrones en una atmósfera en la que se ha hecho el vacío. Los hornos que operan en vacío se utilizan para tratamientos es-



Horno de cerámica

Los griegos nos han dejado bellísimos jarrones de cerámica; pero 500 años antes los chinos hacían ya objetos de porcelana, un producto de la arcilla de calidad superior. En Occidente esta técnica era desconocida hasta comienzos de 1700, cuando la porcelana fue introducida por importación. Los chinos deben en parte su descubrimiento al hecho de haber localizado algunos yacimientos de caolín, una arcilla de óptima calidad que contiene una pequeña cantidad de feldespato, el componente fundamental de la porcelana. Además, poseían hornos que podían alcanzar temperaturas de 1.300 °C o más, a la cual el feldespato se funde dando lugar a una pasta similar al vidrio. Por el contrario, en Occidente los hornos no conseguían alcanzar temperaturas superiores a los 1.000 grados centígrados.

En los hornos empleados en cerámica se cuecen materiales, como terracota, ladrillos, baldosas y cementos extraídos de minerales no metálicos, y que, expuestos a altas temperaturas, adquieren una estructura resistente. Si se calientan o se enfrían demasiado rápidamente las cerámicas, se rompen, por lo que al inicio de la cocción la llama debe permanecer baja. El combustible es añadido gradualmente hasta que el horno alcanza la temperatura máxima deseada, y después es enfriado lentamente. Incluso en los hornos más sencillos, donde las temperaturas llegan a 800 °C, este proceso se realiza en varias horas; en los hornos que alcanzan mayores temperaturas puede durar una semana.

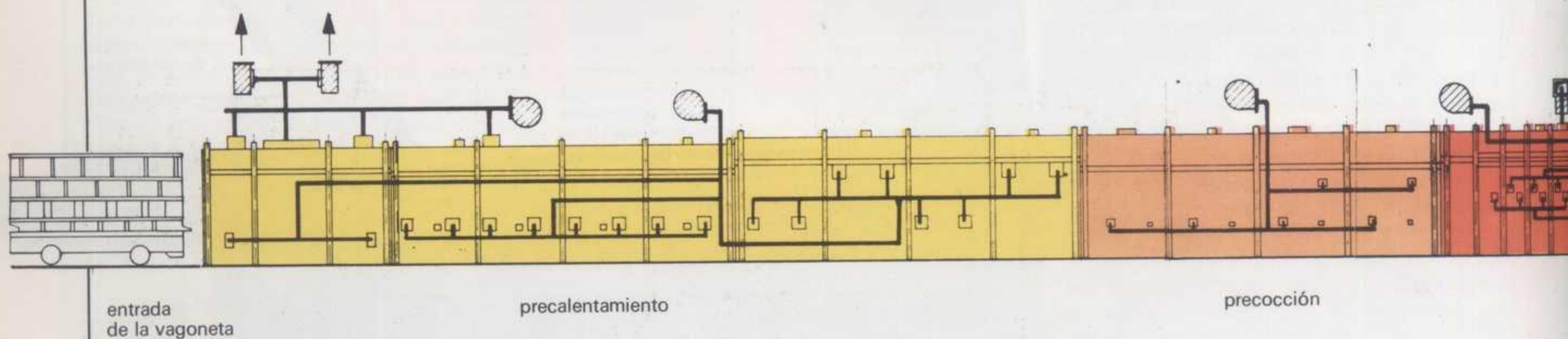
De la cocción en hoyos al aire libre a la porcelana Los primeros métodos de cocción tenían lugar al aire libre; las piezas de cerámica se colocaban junto con ramillas y paja en un hoyo no muy profundo, se recubrían con arcilla y paja y después se encendía el fuego. Pasado un período de tiempo, los hornos se convirtieron en estructuras cilíndricas fijas, con un túnel de entrada lateral en el que se encendía el fuego. Más tarde los griegos empezaron a construir bóvedas o estructuras de forma alveolar con chimeneas en la parte superior que podían abrirse o cerrarse para regular la corriente de aire ascendente. Los objetos de cerámica se introducían por la parte superior del cilin-

Para la producción industrial de cerámica se utilizan distintos tipos de horno que cuentan con una notable capacidad. En la foto de la derecha, boca de horno para monococción de cerámica en porcelana china vidriada. Se trata de un horno de túnel de llama libre en el que la porcelana es cocida en atmósfera reductora. Abajo, vagones en las que se colocan las piezas a cocer. Estas vagones recorren todo el horno, desde la boca hasta la salida, y en un solo trayecto las piezas son calentadas, cocidas y enfriadas.

Siti S.p.A.; Marano Ticino, Novara



Siti S.p.A.; Marano Ticino, Novara



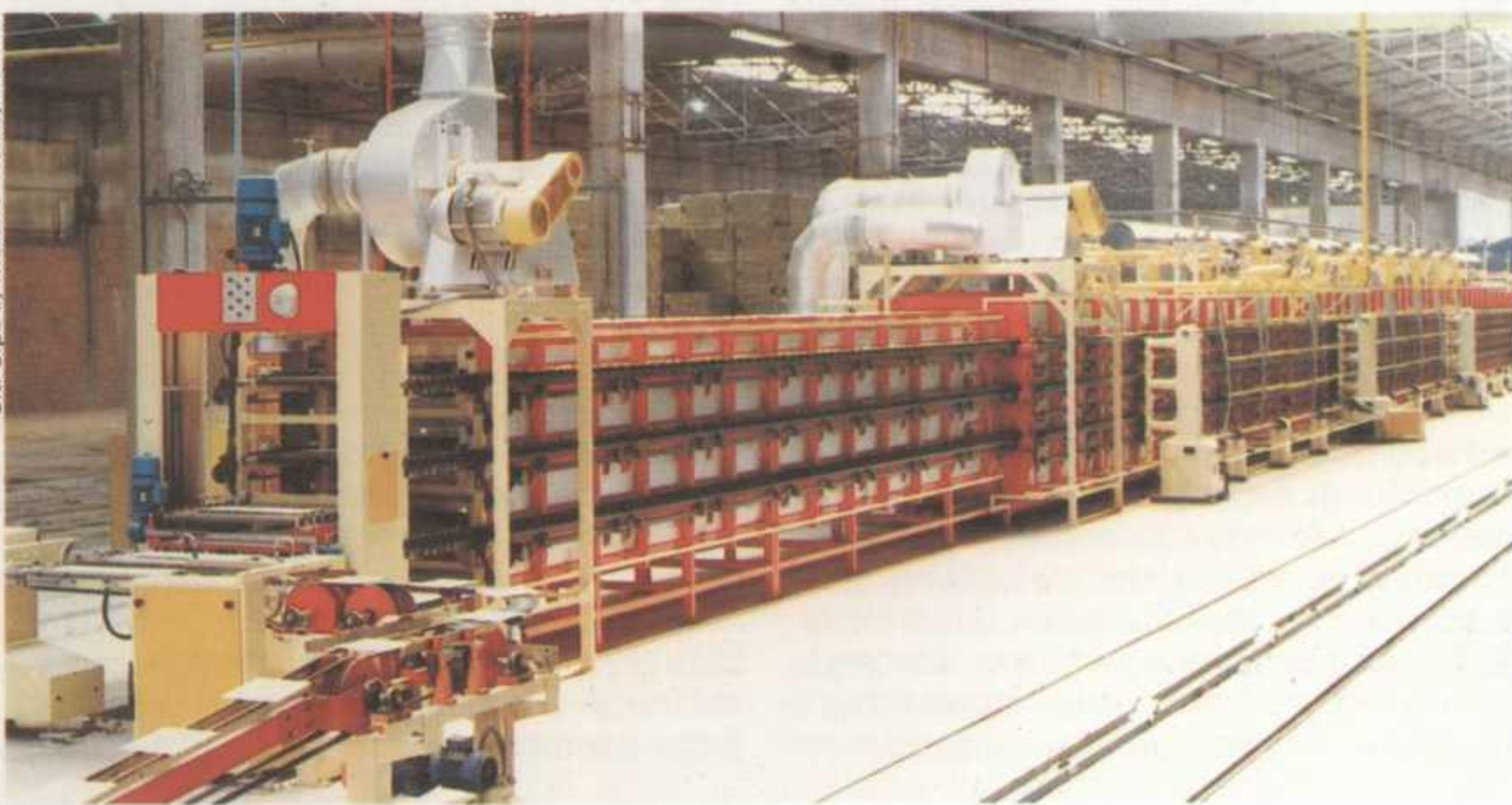
dro o a través de una abertura lateral de la bóveda y se colocaban en una plataforma hecha de barras de arcilla cocida, ancladas en las paredes y sostenidas por un pedestal situado en el centro. Al pasar a Europa occidental, los hornos no experimentaron cambios apreciables en los milenios siguientes, excepto la adquisición de la forma cuadrada, que se produjo en la Edad Media.

Los hornos orientales tenían chimeneas situadas al mismo nivel de los objetos de arcilla o por debajo de ellos, creando así una corriente de aire transversal y descendente, capaz de producir temperaturas más altas y de cocer la arcilla de manera más uniforme. Los japoneses utilizaban hornos huecos formados por túneles verticales, en los que se podía entrar con dificultad arrastrándose, que tenían el fuego en la parte inferior de la entrada y una abertura en la parte superior. Los chinos construyeron hornos como los del tipo Hoffman, consistentes en una serie de cámaras comunicadas que estaban dispuestas de forma ascendente. La llama se encendía en la entrada de la cámara más baja y el calor pasaba rápidamente, a través de unas pequeñas aberturas, a las cámaras siguientes.

Influencia de la Revolución Industrial Después de haber sido importadas las técnicas para la fabricación de porcelana a comienzos del siglo XVIII, los europeos empezaron a experimentar con temperaturas más altas y sistemas de corrientes de aire transversales y descendentes. Sus hornos en forma de botella tenían un buen rendimiento en lo que respecta al combustible, y finalmente lograron alcanzar las temperaturas necesarias para producir porcelana. Los hornos de carbón —de temperaturas inferiores— de Cassel y Newcastle, para la producción de ladrillos, tenían formas bajas y horizontales con chimeneas en el extremo que provocaban corrientes de aire transversales.

Los hornos en forma de túnel o continuos, utilizados actualmente en la mayoría de las fábricas de cerámica, fueron introducidos en 1877, aumentando muchísimo la producción. Las piezas de cerámica se colocan en vagonetas planas, provistas de ruedas; atraviesan primero la zona de precalentamiento, de cocción y por último

Siti S.p.A.; Marano Ticino, Novara



de enfriamiento en el interior del túnel. Los hornos de túnel son alimentados continuamente, día y noche, con el fin de reducir las tensiones ejercidas sobre las paredes por las contracciones y expansiones que se producen alternativamente por los ciclos sucesivos de calentamiento y enfriamiento.

Los hornos se construyen con material refractario, que procede de ciertas sustancias cerámicas especialmente resistentes a fuertes aumentos de temperatura, a la corrosión y a las altas presiones. El material refractario más antiguo y de uso más difundido es el ladrillo refractario, que contiene un 30-40% de alúmina y un 50% de sílice. Los superrefractarios, creados recientemente, pueden resistir temperaturas de más de 3.000 grados centígrados.

Los pirómetros, instrumentos para la medición de temperaturas muy elevadas, fueron introducidos a principios de siglo, sucediéndose a partir de entonces rápidas innovaciones en los tipos de combustible utilizado en los hornos. Los factores ambientales y los costes indujeron a utilizar el calor seco residual de los hornos para otras necesidades térmicas industriales o domésticas.

Innovaciones más recientes Los hornos de cocción discontinua (al contrario que los de actividad continua) se siguen utilizando para la investigación y para la producción de artículos de calidad superior, como por ejemplo las ojivas de los

misiles, construidas con materiales refractarios. Además, las condiciones especiales, como puede ser una atmósfera reductora, se pueden controlar mejor en este tipo de horno.

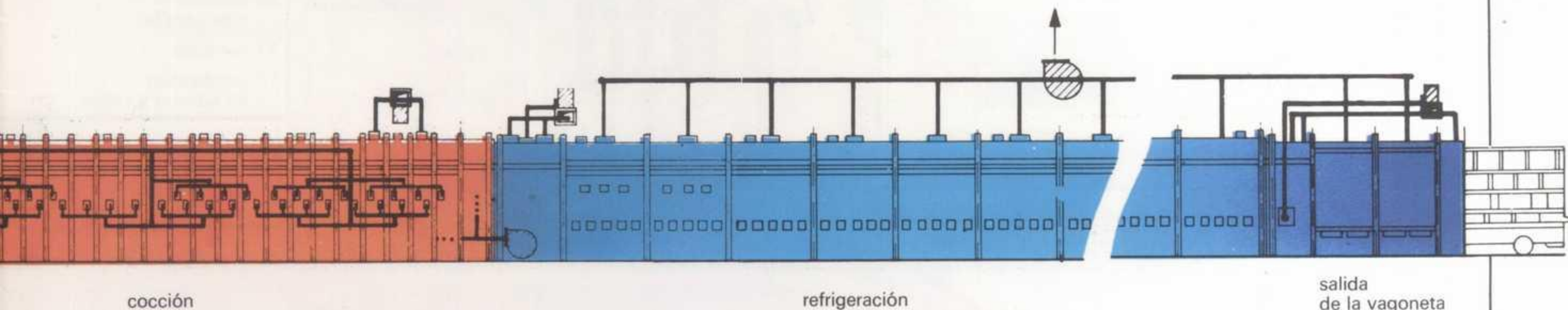
Otros tipos de horno son los de bajas temperaturas (100 °C) para secar madera. En un ciclo de cocción, que puede durar de 4 días a un mes, se pueden llegar a secar 70.000 m³ de madera.

Los fabricantes de cemento utilizan hornos rotatorios. Los materiales componentes son cargados por el extremo superior de un cilindro inclinado; la gravedad y la rotación del cilindro empujan el cemento hacia el quemador situado en el extremo inferior del tobogán, desde donde sale al exterior por una abertura situada debajo del quemador.

Véase **Cemento; Cerámica; Construcción, materiales de; Energía, ahorro de; Horno; Oxidación y reducción**

Abajo, vista lateral de un horno de túnel de llama libre para cocción de porcelana en atmósfera reductora. Empezando desde la izquierda: secciones de precalentamiento, precocción, cocción y refrigeración. La temperatura va aumentando desde la boca hasta la zona de cocción y después desciende hacia la

zona de refrigeración. El desarrollo que ha tenido en los últimos años la utilización de la cerámica para pavimentos y para revestimientos ha hecho necesaria la introducción de hornos capaces de satisfacer la demanda del mercado. Arriba, horno para la fabricación industrial de baldosas con cocción en varios estratos superpuestos.



Hospital

Pocos progresos han cambiado tanto la vida humana como los rápidos avances de la Medicina moderna. Empleando los progresos tecnológicos de la ciencia médica, el hospital moderno ha transformado la práctica de la Medicina en todo el mundo.

Los hospitales generales Existen multitud de tipos de hospitales que ofrecen una gran variedad de servicios. El tipo más común es el hospital general de una comunidad, organizado para prestar los servicios sanitarios esenciales a una determinada zona. Este tipo de hospital debe estar capacitado para realizar intervenciones quirúrgicas graves, tratar casos de emergencia y administrar tratamientos a largo plazo a sus pacientes, tanto internos

(con frecuencia los hospitales se definen en función del número total de camas disponibles) como externos.

Habitualmente un hospital general tiene un equipo de enfermeras y médicos especialistas en Medicina interna, un servicio de radiología —que posea, al menos, aparatos de rayos X, aunque carezca de técnicas más sofisticadas para el diagnóstico— y una farmacia. Existe también un gran número de personas dedicadas a mantener en condiciones higiénicas las habitaciones y los aparatos, así como a proporcionar a los pacientes los alimentos, según dietas adecuadas a cada enfermedad. Algunos hospitales tienen también otros servicios y otro tipo de personal, de acuerdo con las necesidades del lugar donde estén enclavados.

ESPECIALIDADES

medicina

cirugía

ginecología y obstetricia

pediatría

12

PRIMERA UNIDAD DE RADIOLOGIA Y RADIOSCOPIA

entrada de automóviles

vestibulo

SEGUNDA UNIDAD DE RADIOLOGIA Y RADIOSCOPIA

gimnasio

piscina

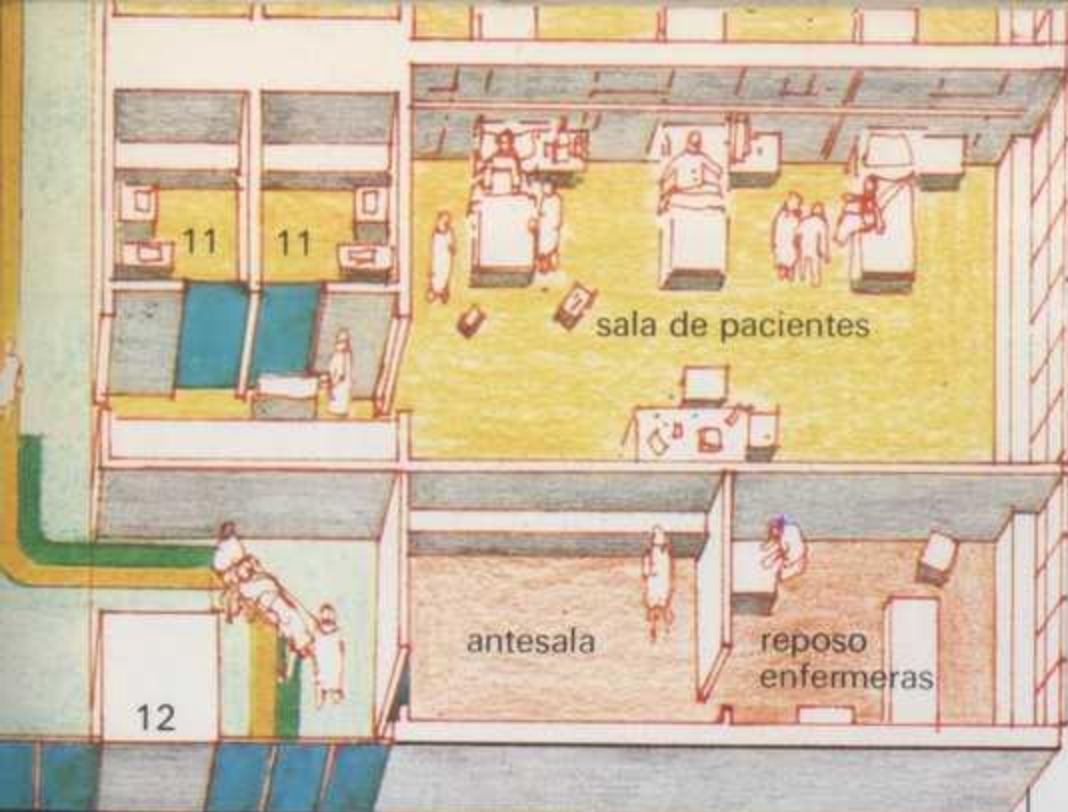
espera
ambulatorios

- 1 ambulatorio
- 2 vestuarios
- 3 oficinas
- 4 petición de fármacos y medicamentos
- 5 farmacia interna
- 6 laboratorio
- 7 desvanes
- 8 cabina de mandos
- 9 generadores
- 10 ascensores para camillas
- 11 servicios
- 12 conducción de tuberías y cables

farmacia
para externos

recorridos:

- ambulatorios
- enfemos
- heridos
- donantes de sangre
- médicos y enfermeras
- visitas



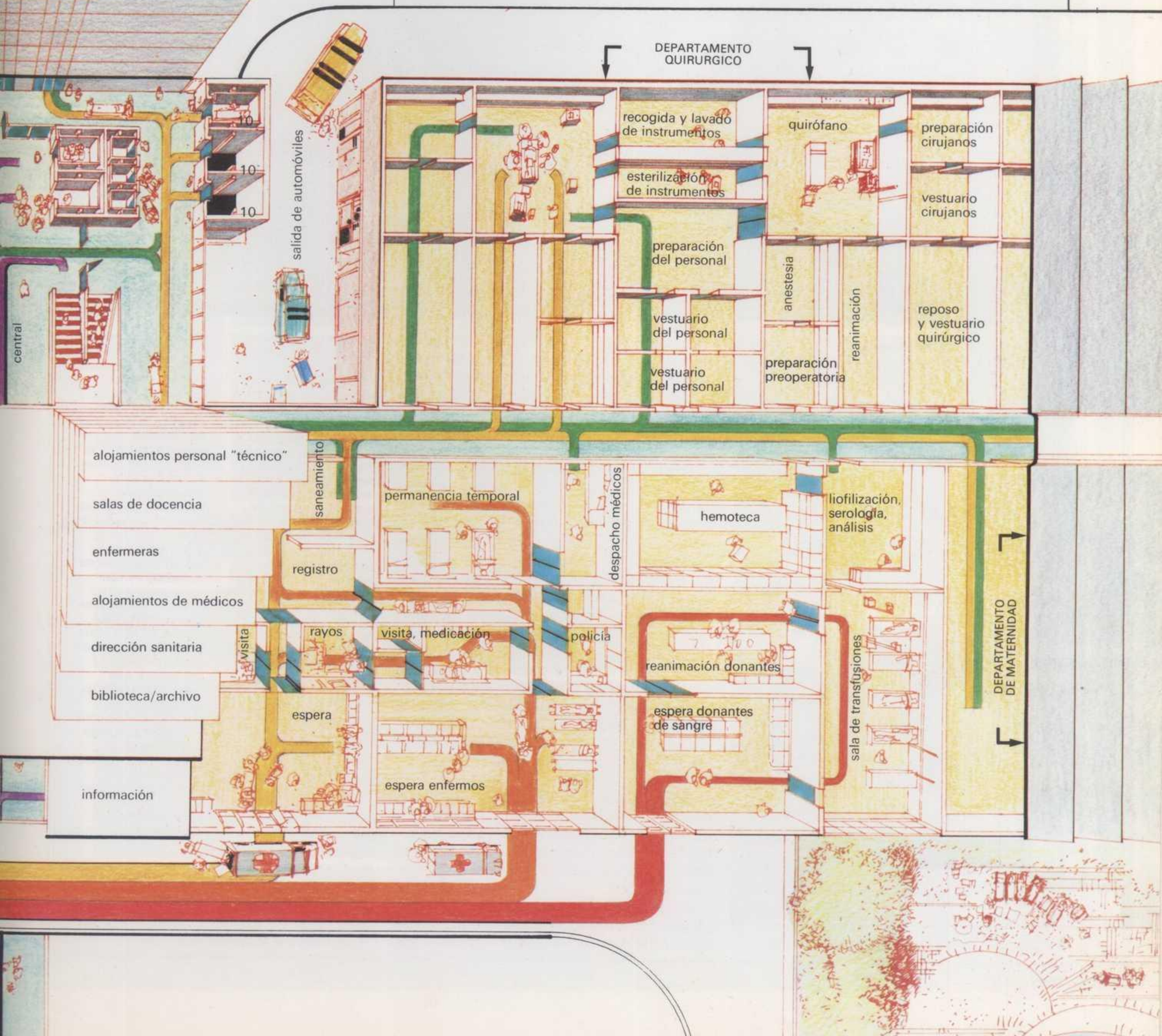
El hospital y los servicios sanitarios: el hospital aquí representado constituye una de las más modernas concepciones arquitectónicas en que los servicios sanitarios se reagrupan en una única planta de grandes dimensiones (es decir, una construcción

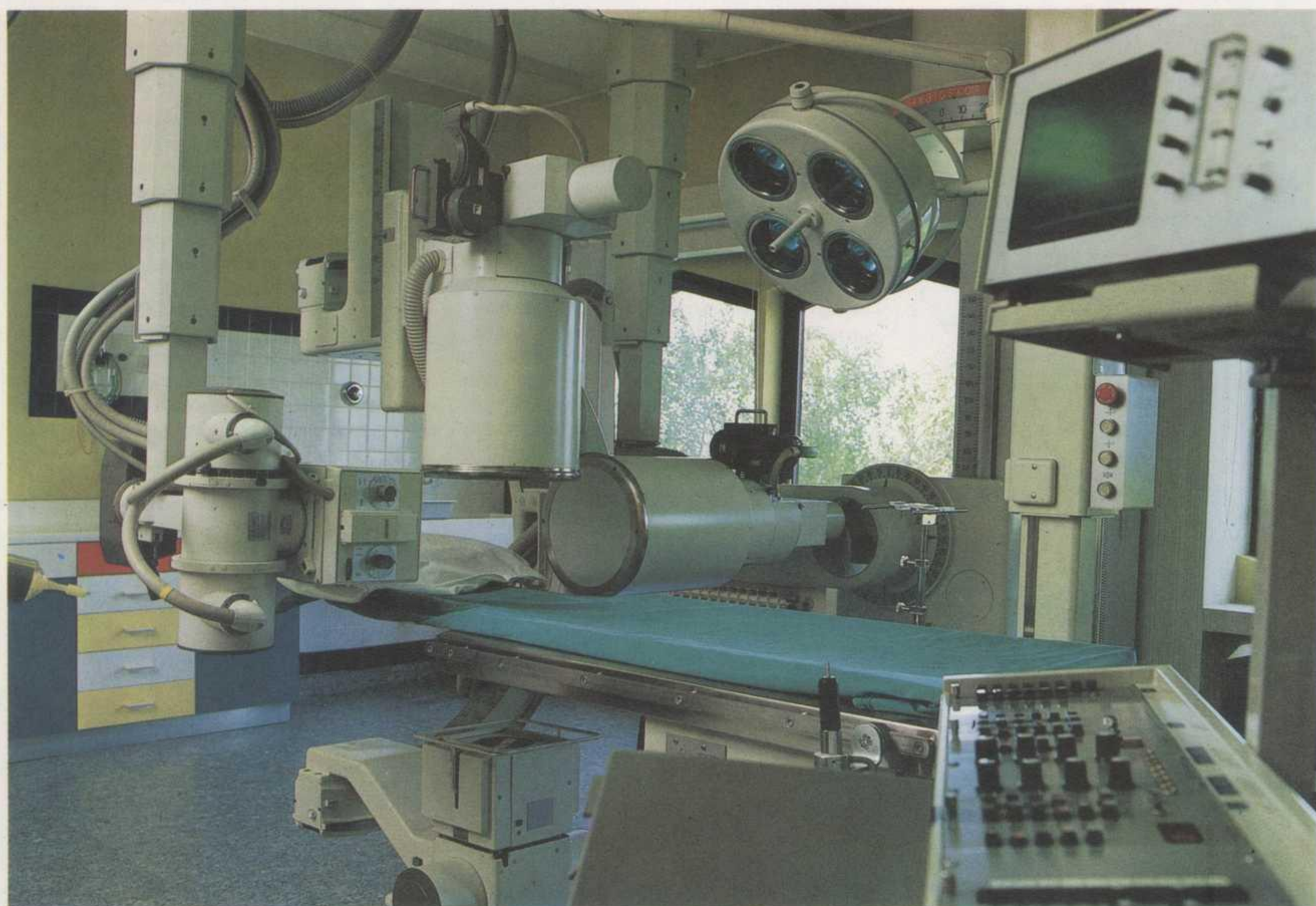
desarrollada horizontal y no verticalmente), mientras que los servicios para la asistencia a los enfermos, los despachos y alojamientos de los médicos y las enfermeras se encuentran en altas torres. El esquema pone en evidencia esta subdivisión.

nicas médicas están asociadas habitualmente a las correspondientes universidades, si bien pueden aceptar también a médicos que han finalizado ya su carrera en otras universidades.

A causa de las exigencias de la enseñanza —los estudiantes de Medicina deben hacer prácticas en los distintos campos de la ciencia médica—, las clínicas universitarias tienden a formar parte de grandes y complejos centros médicos con más de 1.000 camas. El centro médico posee todo aquello que tiene el hospital, pero a una escala mayor. Dispone, además, de la instrumentación adecuada para una cirugía sofisticada, de un servicio de anatomía patológica para efectuar pruebas diagnósticas y —aún más importante— de un mayor número de especialistas.

Las clínicas universitarias y los centros médicos Mientras que los hospitales generales pueden encontrarse en muchas ciudades, grandes y pequeñas, la mayoría de las clínicas universitarias y de los centros médicos se implanta generalmente en las grandes áreas metropolitanas. Las clí-





Por esta razón, mientras que, en general, un hospital tiene principalmente especialistas en Medicina interna, en un centro médico hay internistas, obstetras, especialistas en Oncología, Cardiología, Psiquiatría, Pediatría y otras especialidades.

Los hospitales especializados Existen algunos hospitales especializados exclusivamente en el tratamiento de ciertas enfermedades o en sectores particulares de la Medicina. Entre los más comunes están los hospitales psiquiátricos, que ofrecen tratamientos psiquiátricos a los pacientes que los requieren. Hay centros dedicados a los tumores, que se ocupan del tratamiento y de la investigación en este campo; hospitales que proporcionan toda la gama de servicios obstétricos y ginecológicos; hospitales para niños, que proporcionan tratamientos pediátricos; hospitales ortopédicos, especializados en el tratamiento de fracturas óseas, artritis y problemas musculares, etcétera.

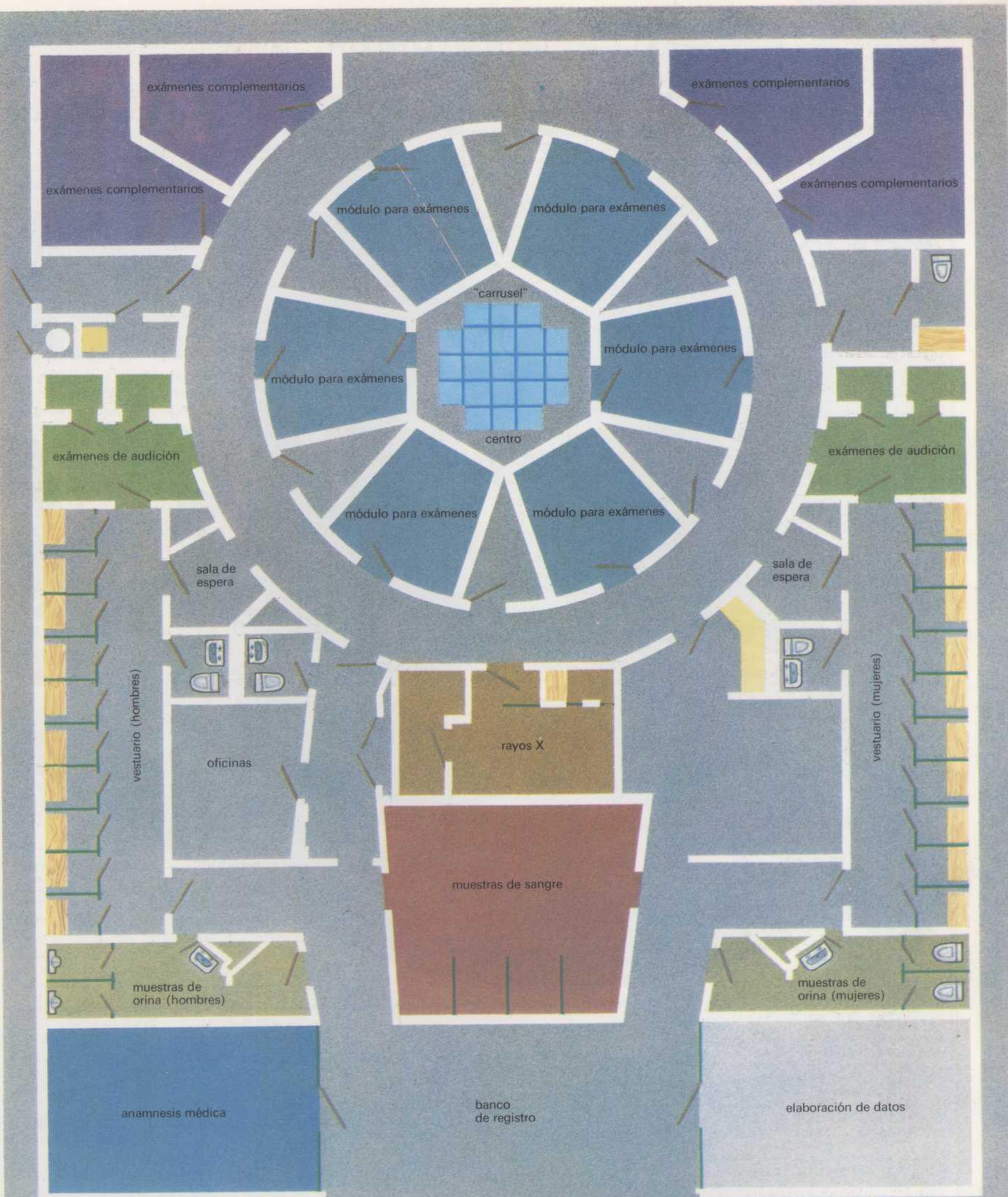
Financiación y administración de los hospitales Cualquiera que sea el tamaño y el lugar donde se encuentre, todo hospital debe afrontar el problema de la financiación. En los últimos treinta años la tendencia en todo el mundo ha sido incrementar el aporte gubernamental a los servicios médicos. Hoy en día, en muchas partes del mundo, los hospitales privados,

La importancia esencial de un hospital moderno poliespecializado se basa en la posibilidad de concentrar en él especialidades e instrumentación que de otra manera sería imposible encontrar reunidas en un solo centro. El paciente puede de este modo recibir asistencia y control por parte de médicos y personal particularmente expertos, así como ser sometido a una serie de exploraciones "cruzadas" capaces de revelar incluso enfermedades o disfunciones que muy difícilmente podrían ser diagnosticadas fuera del ámbito hospitalario. Hoy en día, por lo tanto, con la utilización de aparatos electrónicos extremadamente sofisticados, la exactitud de las exploraciones ha llegado a ser tan

elevada que permite al médico llegar de este modo a un diagnóstico preciso. Las tres fotografías ilustran aparatos utilizados en angiocardiológica. Con esta técnica, que requiere por parte del médico y del personal de enfermería un adiestramiento adecuado, es posible visualizar defectos del lecho vascular responsables de la aparición de trastornos cardíacos de tipo anginoso o incluso de infartos. El examen angiocardiológico constituye la premisa esencial para permitir un diagnóstico completo y una ejecución con éxito de intervenciones quirúrgicas destinadas a normalizar el flujo sanguíneo en la circulación coronaria. Las posibilidades de la cirugía cardíaca son hoy en día verdaderamente elevadas.

en cuanto tales, prácticamente no existen, y los tratamientos médicos están a cargo del Estado.

Véase **Cirugía; Medicina; Radiología**



"Carrusel" de módulos para exámenes de laboratorio automatizado multifase de la Clínica Palo Alto (California). En el esquema, el "carrusel" presenta la estructura hexagonal de la parte superior de la figura. Doce veces

cada hora, una sección de las paredes experimenta una rotación de 60 grados, de manera que lleva una nueva instrumentación a cada una de las seis habitaciones. En el caso de aparatos costosos y sofisticados, se alojan

en el centro del "carrusel" y desde allí se conectan alternativamente a los pacientes. Los resultados de los exámenes llegan al médico en forma de tablas que permiten un diagnóstico rápido y riguroso.

Hovercraft

Los *hovercrafts* o aerodeslizadores se desplazan sobre un colchón de aire, independizándose así del sustrato, ya sea agua, nieve, terrenos pantanosos, etc. Un *hovercraft* puede moverse sobre toda superficie mínimamente nivelada, siendo sostenido por el aire expulsado a fuerte presión desde la parte inferior del casco.

Los *hovercrafts* representan una forma de medio de transporte relativamente nueva, ya que la primera unidad apta para una utilización práctica fue fabricada en el año 1959. Este primer aerodeslizador comercial (el *SR-N1*) iba provisto de un motor de 450 CV, que movía una hélice que producía el colchón de aire.

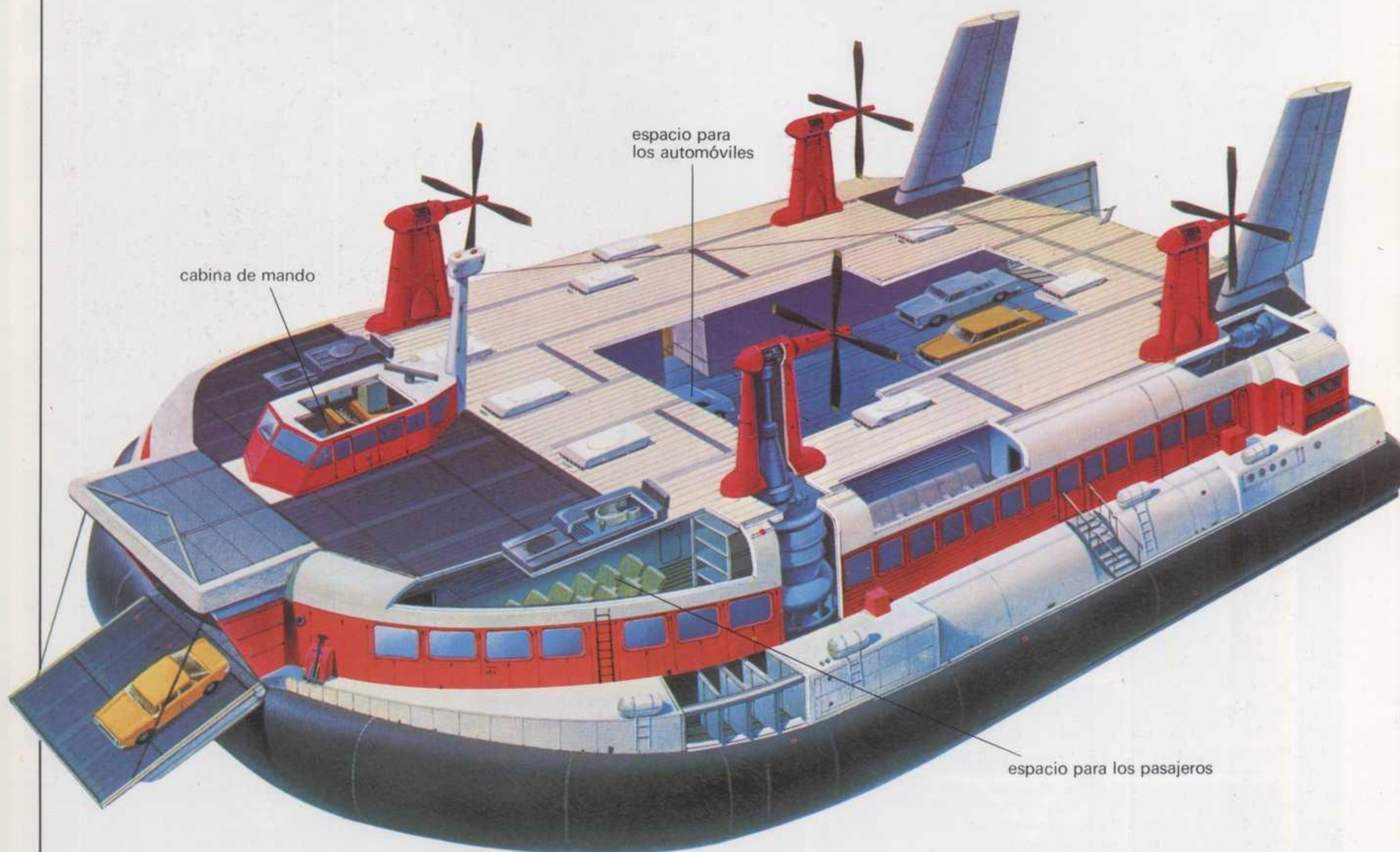
Aunque el término *hovercraft* sea en realidad el nombre comercial de la casa Hovercraft Ltd., éste es hoy utilizado nor-

malmente para denominar a la mayoría de los vehículos de colchón de aire.

Origen del hovercraft La idea de un vehículo de colchón de aire nació en Inglaterra, hacia finales de los años setenta del siglo pasado, por obra de Vosper Thornycroft, quien se preguntó si un barco no podría moverse a mayor velocidad si estuviese dotado de un casco cóncavo debajo del cual pudiese ser bombeado aire a presión (cámara de presión). Este sistema permitiría levantar la embarcación, reduciendo su contacto con el agua. Pero en aquella época no se pudo solucionar el problema —decisivo para el buen funcionamiento del invento— de impedir que el aire se escapase de la cámara de presión existente debajo del casco.

En los años cincuenta de este siglo, otro inglés, Christopher Cockerell, desarrolló de una forma sencilla la idea de bombear aire a presión debajo del casco: pensó que el aire debía ser bombeado hacia abajo, debajo del casco, a través de una estrecha ranura practicada a lo largo de todo su perímetro. Con una fisura ligeramente inclinada hacia el interior, el aire habría formado un colchón debajo y a lo largo de todo el perímetro del casco.

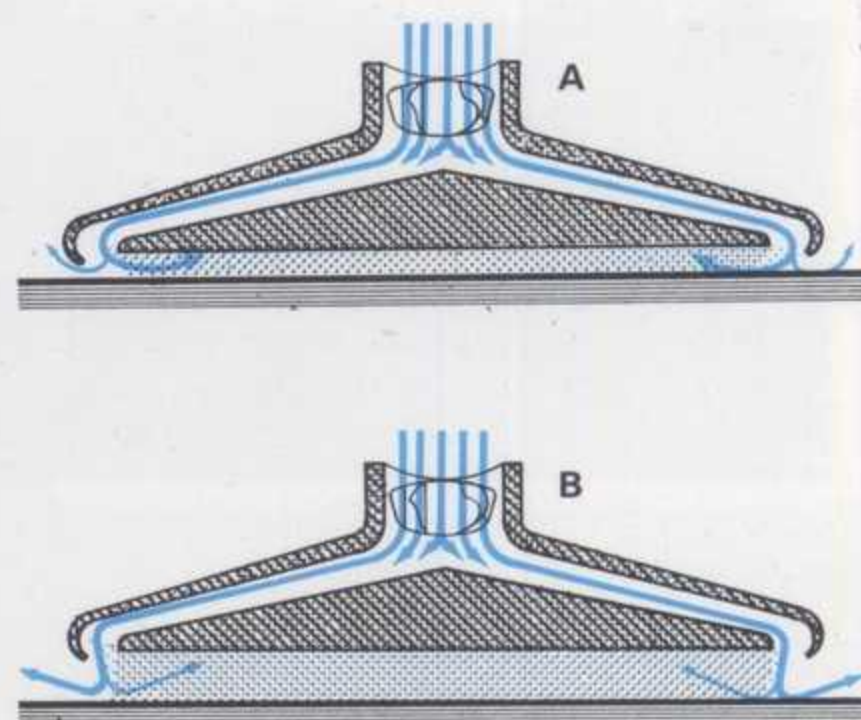
En un principio se pensó que la presión del aire que salía por los chorros periféricos sería suficiente para formar, por sí sola, un envolvente —alrededor del perímetro del casco— capaz de impedir la salida del aire que formaba el "colchón". Pronto se comprobó que no era así y se adoptaron diferentes tipos de "faldones" para impe-

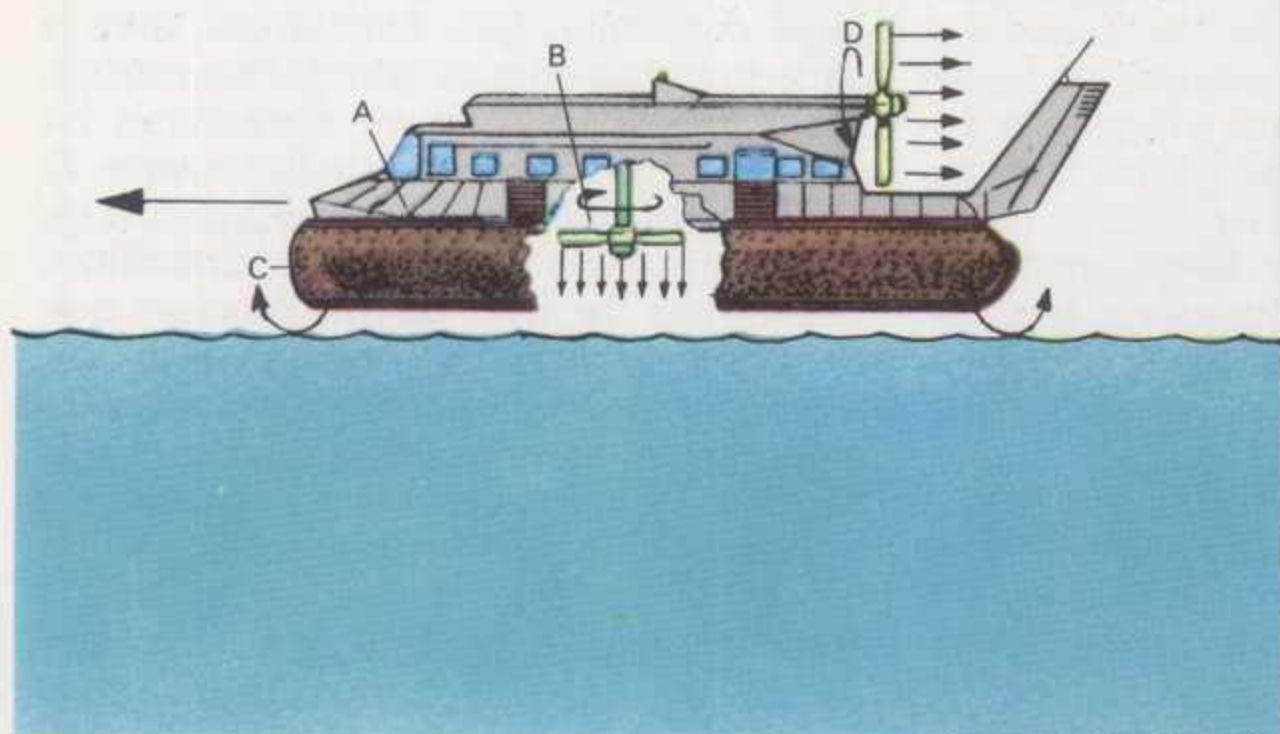


Arriba vemos la representación de un vehículo de colchón de aire en el cual se distinguen: la cabina de mando, los espacios disponibles para los pasajeros y para automóviles. El *hovercraft* tiene la ventaja, con respecto a cualquier otro sistema de locomoción marítimo o terrestre, de poder moverse indistintamente sobre terreno sólido o sobre agua, es decir, que es completamente anfibia

y avanza como si volara deslizándose sobre un colchón de aire sin tocar la superficie. Su separación del suelo, cuando está en movimiento, es proporcional a su tamaño. El *hovercraft*, después de elevarse, avanza horizontalmente mediante unas hélices orientables movidas —al igual que los compresores— por turbinas de gas de uso marítimo.

A la derecha, esquema del principio de funcionamiento del colchón de aire. El mecanismo es muy sencillo: el aire es aspirado, comprimido y empujado del vehículo (A). El faldón impide que el aire salga por los laterales, formando un colchón de aire comprimido sobre el cual se apoya y desliza el vehículo aunque su peso alcance varias toneladas. Después de que se haya formado la cámara de aire, ésta es alimentada por un flujo de aire dirigido hacia el exterior y hacia abajo (B). En función del tipo de terreno —más o menos accidentado— o de la fuerza del oleaje, se bombea mayor o menor cantidad de aire.





El *hovercraft* está constituido por un cuerpo relativamente rígido y plano (A) en el cual hay una hélice (B) que sopla hacia abajo el aire aspirado desde arriba. El aire enviado a presión hacia abajo se expande entre el suelo y la plataforma. Con el fin de que ésta no esté muy próxima al suelo y poder superar los obstáculos, se coloca en los bordes del vehículo

un "faldón" de tela engomada (C). De esta forma el aire bombeado por las bocas de salida infla la "falda" y permite un mayor levantamiento desde el suelo. Existe además una hélice orientable, con eje de rotación horizontal (D), que sopla el aire en una determinada dirección; de esta forma el vehículo avanza en sentido opuesto.

Abajo vemos el avance de un *hovercraft*. Sobre terreno plano, el vehículo está separado del suelo, lo que le permite superar obstáculos de una altura casi igual a la distancia entre el "faldón" y el terreno. Si la altura es mayor, pero inferior a la altura del "faldón", éste se dobla a su paso. En la foto vemos la salida de un *hovercraft* desde Dover.

dir el escape periférico de la burbuja de aire a presión. La altura del colchón de aire es, generalmente, igual a la décima parte de la mayor dimensión del casco medida horizontalmente. Un *hovercraft* de diez metros de largo tendrá, por lo tanto, un "colchón" de un metro de altura.

En 1955, Cockerell registró una patente sobre este invento y, cuatro años más tarde, bajo el auspicio del Ministerio de Defensa inglés, terminó la construcción del primer *hovercraft* de utilización práctica, el SR-N1, capaz de alcanzar una velocidad de hasta 50 nudos.

Desarrollos del *hovercraft* La principal innovación en el proyecto del SR-N1 fue la adopción, ya citada, de un "faldón" de material flexible fijado al perímetro inferior del casco. Su flexibilidad permitía contener el colchón de aire tanto en mar movido como en terreno ligeramente accidentado, sin que el casco sufriera daños. Este "faldón" debe ser duradero y lo suficientemente fuerte como para resistir el rozamiento debido al contacto con el agua o el terreno a velocidades elevadas. Hoy en día, los "faldones" se fabrican en nailon de gran resistencia. Algunos pueden durar hasta 8.000 horas, antes de desgastarse. El "faldón" más difundido actualmente es el que tiene forma de saco, parecido a una gruesa tubería colocada alrededor de todo el perímetro del casco.

La propulsión de los *hovercrafts* se realiza casi siempre mediante hélices, similares a las de los aviones, colocadas en la parte posterior del vehículo. Generalmente los motores están constituidos por turbinas de gas, que a menudo suministran también la potencia necesaria al accionamiento de los ventiladores que empujan el aire debajo del casco para levantarlo. El *hovercraft* emplea mucha más energía para mantenerse levantado del suelo que para su propulsión. El piloto puede controlar el vehículo mediante unas aletas de cola dotadas de partes móviles, similares a timones, colocadas en la parte posterior. En muchos *hovercrafts* hay hélices montadas sobre unos pilones cuya orientación puede ser variada para permitir el cambio de dirección en su movimiento.

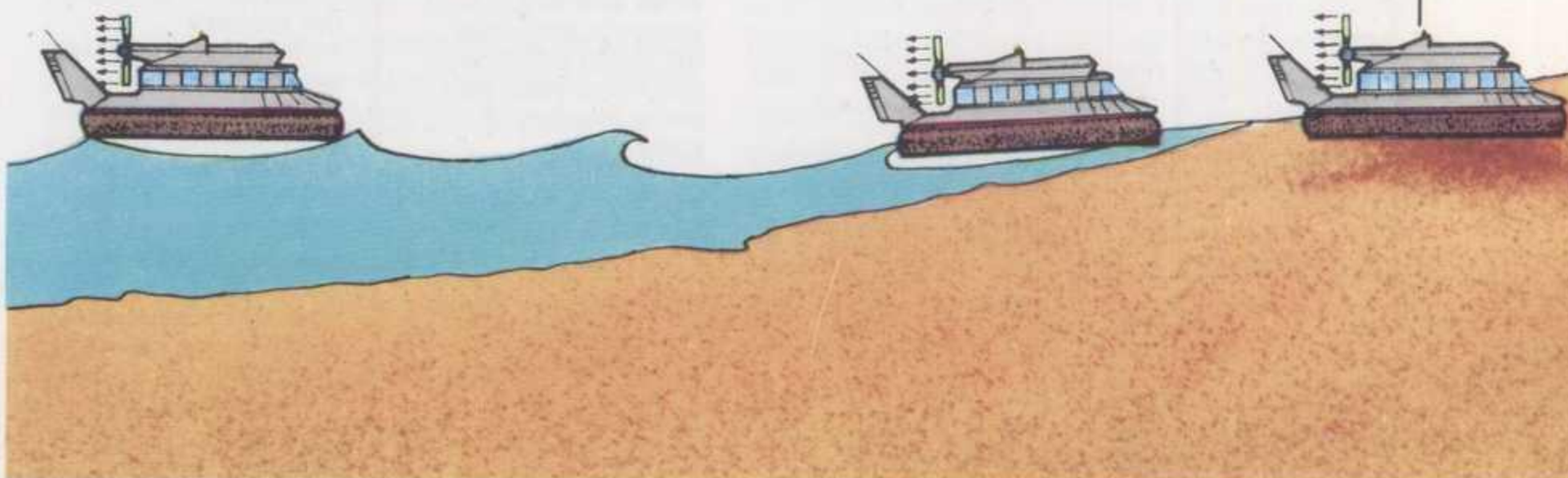


El *hovercraft* del futuro Hacia la mitad de los años sesenta se veía con mucho optimismo el futuro de los *hovercrafts*. Existían proyectos fantásticos de barcos gigantes capaces de cruzar los océanos a la velocidad de 100 nudos y de flotas de *hovercrafts* capaces de recorrer las regiones árticas y desérticas de nuestro planeta. Cuando se evidenció que la solución de algunos problemas —como, por ejemplo, la duración de los "faldones"— requería mucho tiempo, este interés disminuyó. Solamente los ingleses continuaron la investigación a gran escala, iniciando, hacia finales de los años sesenta, un

servicio comercial de transbordadores —compuesto por *hovercrafts* capaces de viajar a 60 nudos y transportar hasta 420 pasajeros y 55 automóviles— que cruzaban el Canal de la Mancha.

Aunque el futuro de los *hovercrafts* no parece tan glorioso como se esperaba, los vehículos de colchón de aire se siguen fabricando para transporte de pasajeros, como transbordadores y, fundamentalmente, para aplicaciones militares, como medios de desembarque anfibio.

Véase **Transbordador; Vehículo anfibio**



Hueso

Si observamos el esqueleto de un dinosaurio, veremos que sus huesos se ordenaban para realizar determinadas funciones esenciales. La robustez y rigidez de los mismos daban al animal su forma característica. La disposición de los huesos y las articulaciones que los unían, gracias también al sistema muscular, permitían al animal moverse. Los músculos por sí solos, sin la estructura esquelética a la que se encuentran ligados, no podrían originar un movimiento mayor que el que se observa en una lombriz. Tal restricción en la capacidad para moverse haría imposible, a un animal de grandes dimensiones que viva sobre la tierra, su nutrición adecuada y, en consecuencia, su supervivencia. Existe así claramente una razón por la que no hay gusanos que pesen varias decenas de kilogramos.

Los huesos son los órganos característicos de los vertebrados, entre los cuales se encuentran los peces provistos de columna vertebral, las aves y la mayor parte de los animales terrestres.

La estructura ósea desempeña también otras dos importantes funciones, ninguna de las cuales se deduce de manera obvia del estudio de los mismos huesos:

- En primer lugar, las células de la sangre se producen en el interior de los huesos, en el seno de una frágil sustancia conocida con el nombre de *médula ósea*. Cualquier efecto nocivo que alcance la médula ósea, como por ejemplo una excesiva exposición a los rayos X (a los cuales la médula es muy sensible), disminuye el número de glóbulos rojos de la sangre debido a que reduce la capacidad de la médula para producirlos.

- En segundo lugar, los huesos sirven como reserva de algunas sustancias minerales que son esenciales para el organismo, reservas que son liberadas cuando el nivel de tales sustancias en el organismo es demasiado bajo.

El hueso está compuesto principalmente por dos sustancias minerales: calcio y fosfatos. Aunque el hueso no parezca ciertamente más vivo que una piedra cual-

quiera, en realidad es un tejido viviente lleno de células. Estas células continúan su labor durante toda la vida del organismo; de ahí que, aunque los huesos hayan finalizado completamente su crecimiento, y gracias a este trabajo continuo, el hueso pueda restablecer la forma e incluso la posición primitivas después de una fractura. Los huesos, además de su función de almacenamiento de calcio, desempeñan la tarea de "restituir" este calcio al organismo cuando éste envía señales de que escasea dicho mineral, que, por otra parte, el cuerpo puede tomar de otras fuentes, como la alimentación. Aunque más del 99% del calcio que contiene un ser vivo se encuentra en los huesos, el restante 1% (o incluso menos) es necesario en otros lugares para distintas funciones, por lo que el nivel de calcio en la sangre debe permanecer siempre entre unos intervalos determinados para que la salud no padezca.

En los huesos están presentes tres tipos de células: los osteoblastos, los osteoclastos y los osteocitos. Aunque estos tres tipos de células poseen funciones muy diferentes, cuando es necesario y en determinadas condiciones pueden convertirse unos en otros.

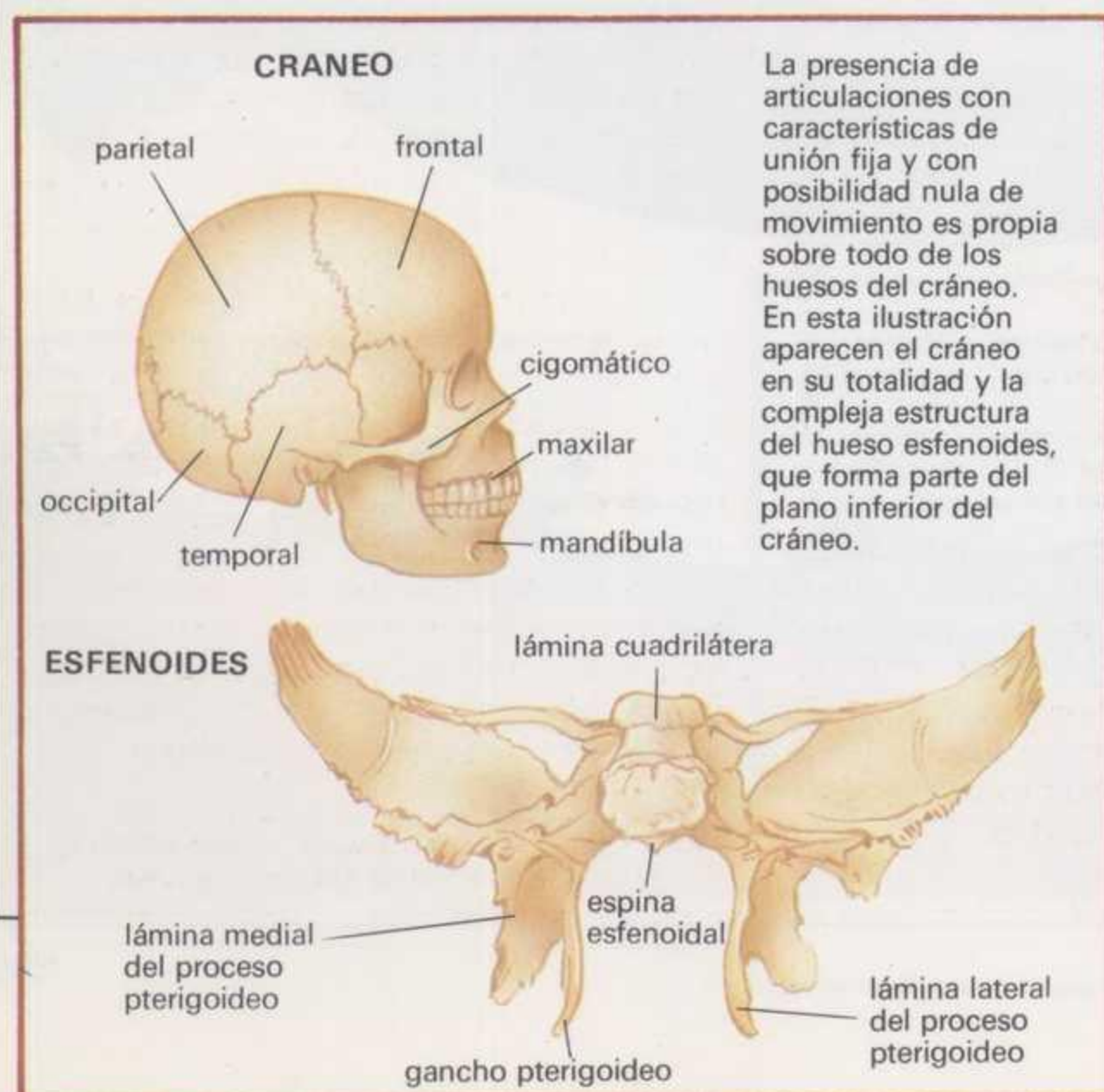
Los *osteoblastos* son células en forma de huso que construyen el hueso. Su principal función es la de segregar los componentes de la matriz ósea (la sustancia intercelular), comprendida una sustancia que mediante ulteriores transformaciones se convierte en colágeno (una proteína fibrosa responsable de gran parte de la dureza y de la flexibilidad del hueso). La dureza deriva principalmente de las sales de calcio que se depositan en la matriz después de que la formación de la misma se ha completado. La cantidad de hueso que se forma está determinada en parte por las necesidades (peso, presión, tracción) que el hueso debe afrontar. Cuanto mayores son estas necesidades, tanto mayor será la cantidad de hueso que se forme. En confirmación de este aserto se observa que un hueso dentro de una escayola se

"reblandece" con el paso del tiempo, dado que no está sometido a ejercicio.

La disolución y reabsorción del tejido óseo por parte del organismo es un proceso constante. Esta función se lleva a cabo por unas células grandes denominadas *osteoclastos*, que se encuentran en casi todas las cavidades de los huesos. El proceso de disolución y de deposición de nueva sustancia ósea se denomina *remodelamiento*. Se trata de un proceso que dura toda la vida. Es una función de importancia vital en el curso del desarrollo y del crecimiento del organismo, así como también es indispensable en el curso de la curación de las fracturas. Mediante los osteoclastos, que disuelven el hueso muerto, y los osteoblastos, que depositan nueva matriz ósea, incluso los huesos fracturados y consolidados de mala manera pueden con el tiempo volver a ser normales.

El tercer tipo de células óseas lo constituye el *osteocito*, que no es más que un osteoblasto que se incorpora a la matriz ósea a medida que el hueso se va formando. Los osteocitos continúan viviendo en las cavidades de los huesos maduros, virtualmente aislados, si bien en una cierta medida mantienen aparentemente contacto unos con otros y con el resto del tejido. Se piensa que los osteocitos contribuyen a mantener la matriz y que desempeñan algún papel secundario en la reabsorción ósea, tal vez en respuesta a señales del organismo que informan cuándo el nivel de calcio en la sangre está descendiendo por debajo de los niveles mínimos requeridos.

El tejido óseo El tejido óseo se presenta en dos tipos: compacto y esponjoso. El tejido compacto es denso y robusto y se encuentra habitualmente en las superficies externas de los huesos, como por ejemplo en el fémur, el hueso del muslo. El tejido óseo esponjoso, por el contrario, posee una estructura y una apariencia porosa, apreciable incluso a simple vista. Está constituido por un retículo de pequeñas paredes rígidas llamadas *trabéculas* (que en latín significa "viguetas"). Tanto el tejido óseo compacto como el esponjoso contienen osteocitos vivos. En el hueso compacto los osteocitos se nutren gracias a una red de delgados vasos sanguíneos que aportan el oxígeno y los nutrientes a las células y retiran las sustancias de desecho. Estos pequeños canales, denominados *conductos de Havers*, transcurren paralelos a la superficie del hueso y están contenidos en estratos de anillos concéntricos llamados *lamelas*. Las lamelas contienen unas cavidades, denominadas *lagunas*, unidas a otras mediante pequeños conductillos llamados *canaliculos*. Los osteocitos viven en estas lagunas. Otros conductos, denominados *conductos de Volkmann*, comunican los vasos sanguíneos de los conductos de Havers con los vasos sanguíneos de la superficie interna del hueso que reviste la cavidad medular, y con los vasos del periostio, que es el teji-



La presencia de articulaciones con características de unión fija y con posibilidad nula de movimiento es propia sobre todo de los huesos del cráneo. En esta ilustración aparecen el cráneo en su totalidad y la compleja estructura del hueso esfenoides, que forma parte del plano inferior del cráneo.

La sección de hueso que aparece en la página siguiente ilustra las distintas modalidades estructurales de un hueso largo, más en concreto, de la zona diafisaria o cuerpo del hueso. Como puede apreciarse, la organización procede por sectores concéntricos, partiendo desde una trabeculación de tejido esponjoso. En el centro de la diáfisis existe una cavidad, llamada *diáfisis*, que contiene la médula ósea. Los vasos arteriales penetran en el hueso a través del periostio externo y del sistema de osteonas del tejido compacto, distribuyéndose



directamente entre las osteonas o mediante canalículos excavados en el tejido óseo, denominados **conductos de Havers**. Las distintas osteonas están organizadas concéntricamente alrededor de un vaso sanguíneo. La forma de los huesos humanos puede definirse en virtud de tres parámetros: longitud, anchura y espesor. Sobre estas líneas podemos ver un ejemplo de hueso largo, el fémur, de hueso plano, la escápula, y de hueso corto, el calcáneo. En los huesos largos se distinguen las extremidades, o epífisis, y el cuerpo central, o diáfisis.

do que recubre la mayor parte de la superficie externa del hueso, con excepción de las articulaciones. En el hueso esponjoso, los conductos de Havers no están completos y los osteocitos se nutren mediante una red de canalículos.

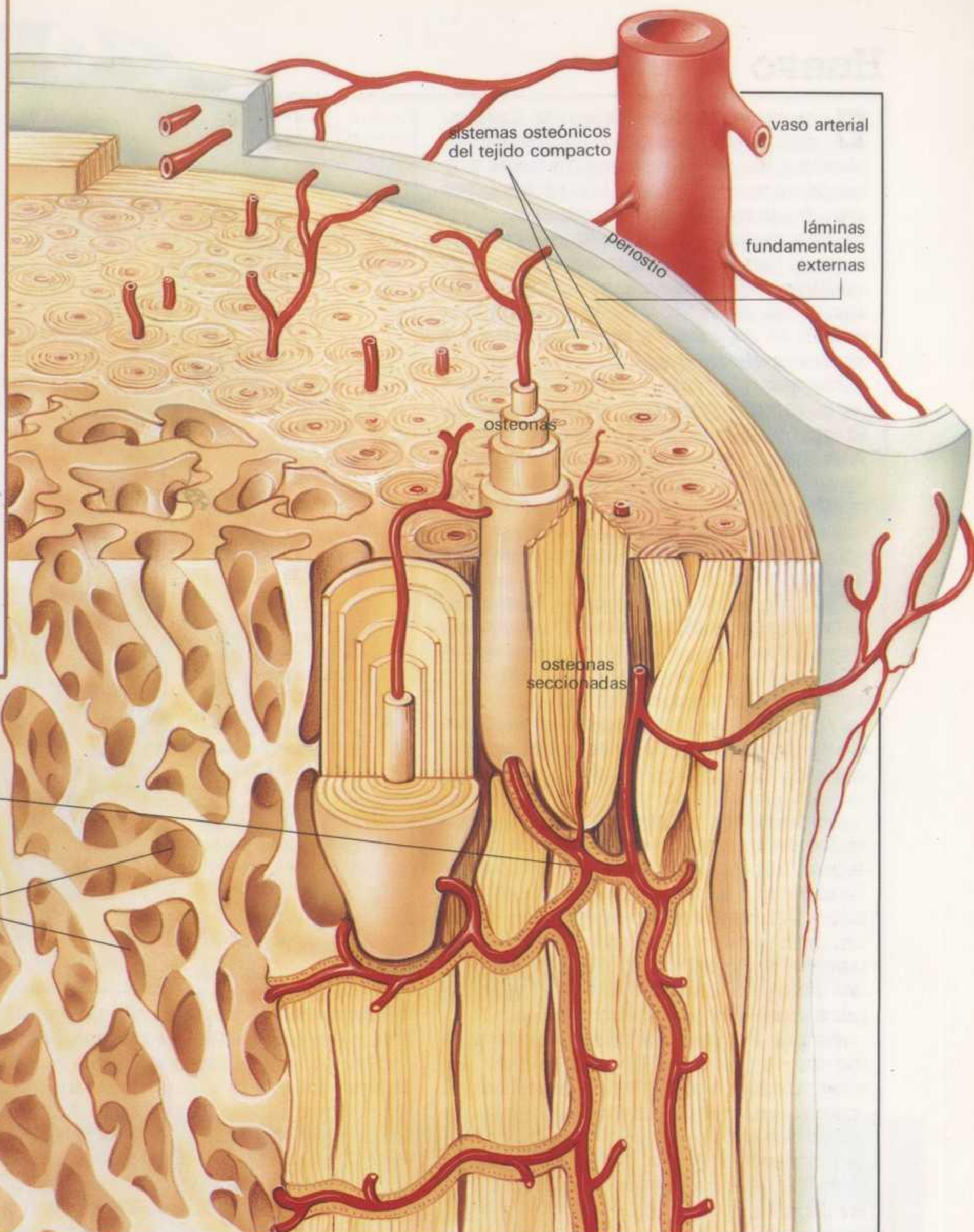
Las membranas óseas El *periostio* es una vaina de tejido conjuntivo que recubre las superficies externas de los huesos. Durante el crecimiento del individuo, el periostio contiene osteoblastos, y en la edad adulta contiene células de tejido conjuntivo que pueden convertirse en osteoblastos para llevar a cabo la formación ósea subsiguiente a una fractura.

El *endostio* es una delgada membrana que recubre todas las cavidades internas del hueso, incluidas las de los huesos largos que contienen médula ósea, los espacios medulares de los huesos esponjosos y los conductos de Havers. Contiene tanto células para la formación de sangre como células para la formación de hueso. La mayor parte de la formación de los glóbulos rojos y glóbulos blancos, sin embar-

go, tiene lugar en la médula roja del esternón y de los huesos de la pelvis.

Clasificación De una manera convencional, los huesos se clasifican en cinco tipos, según su forma.

Los *huesos largos*, como los del brazo y la pierna (húmero, radio, cúbito, fémur, tibia y peroné), están constituidos por una columna, denominada *diáfisis*, y por dos extremidades terminales, llamadas *epífisis*. La columna o cuerpo del hueso está constituida principalmente por hueso compacto y tiene forma como de cilindro hueco. Las epífisis tienen estructura de hueso esponjoso, al que se superpone una delgada capa de tejido óseo compacto. En los huesos que se encuentran en fase de crecimiento, la epífisis está separada de la diáfisis por una placa de crecimiento constituida por cartílago, tejido éste donde tiene lugar la expansión del hueso. La zona de crecimiento de los huesos largos recibe el nombre de *metáfisis*. Al llegar al estado adulto, la actividad de la placa de crecimiento cesa.



Los *huesos cortos*, como los de la muñeca o el tobillo, están constituidos por tejido esponjoso con un recubrimiento delgado de tejido compacto.

Los *huesos planos* protegen los órganos más delicados, como el cerebro, o constituyen los puntos de inserción de los músculos pélvicos, del hombro y de las costillas. Están constituidos por tejido esponjoso rodeado por dos cubiertas de hueso plano y compacto.

Los *huesos irregulares* son similares por su estructura a los huesos cortos y planos, pero se diferencian de ellos por su forma, que es muy característica. Pertenecen a esta categoría las vértebras y los huesecillos del oído medio (martillo, yunque y estribo).

Los *huesos sesamoideos*, pequeños y redondos, se encuentran en el seno de los tendones y en los ligamentos próximos a las articulaciones. En el cuerpo humano el mayor de estos huesos es la rótula.

Véase **Articulaciones; Artritis y artrosis; Calcio; Cuerpo humano; Sangre y grupos sanguíneos**

Huevo

El huevo es la base de la vida. Casi todos los organismos vivos, desde las plantas a los seres humanos, pasando por los insectos, los peces, los reptiles, las aves y los mamíferos, empiezan su existencia a partir de una sola célula sexual femenina, llamada *huevo* o *gameto femenino*. Al ser fecundada esa célula-huevo por una célula sexual masculina (espermatozoide), se formará un nuevo organismo tras una serie de divisiones.

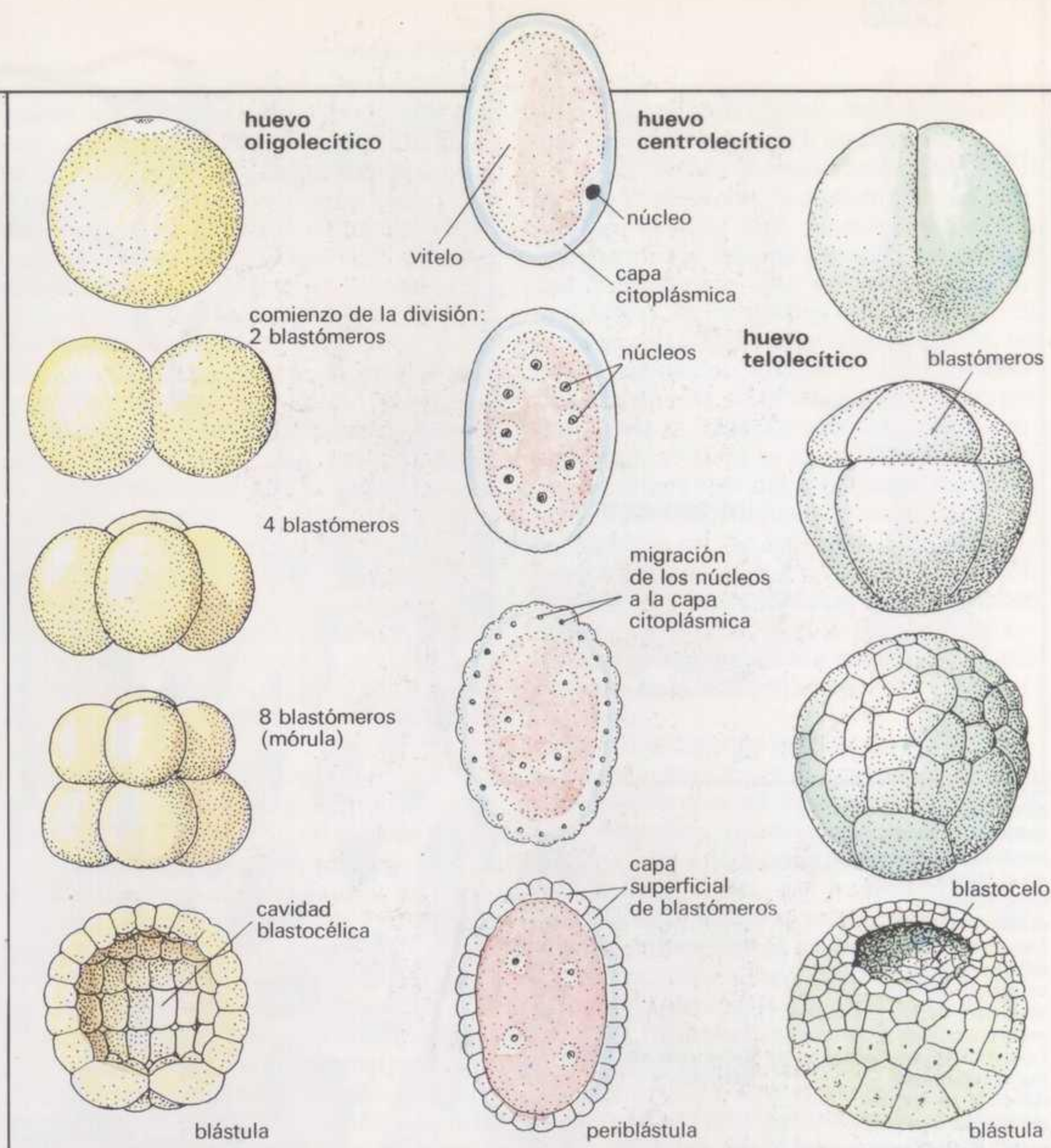
Naturalmente, hay enormes diferencias de unos huevos a otros, pero su función es siempre la misma: crear una nueva vida, un organismo similar a sus progenitores, pero con las suficientes diferencias como para suponer un pequeñísimo paso adelante en la evolución. Para que ocurra esto, el huevo tiene que cumplir dos requisitos: en primer lugar, tiene que poseer un "programa" completo para la formación del nuevo individuo (que está "escrito" en todas las células, en esos fragmentos del ADN —llamados *genes*— que se encuentran en los cromosomas); en segundo lugar, el huevo tiene que poder suministrar el alimento al nuevo organismo en desarrollo.

Formación de los huevos Las mencionadas células-huevo se encuentran en el órgano reproductor femenino, el ovario. En el estadio inicial del desarrollo del embrión se llaman *células germinales*. Antes de convertirse en células-huevo dispuestas a ser fecundadas, las células germinales experimentan dos transformaciones principales: división y crecimiento.

En primer lugar, se multiplican lo mismo que el resto de las células. Pero en este caso hay una diferencia fundamental: mientras que la mayoría de las células se divide por *mitosis* —proceso en el que todas las partes de la célula, incluidos los cromosomas, se duplican y se distribuyen en partes iguales en las células hijas, de manera que cada una de ellas tiene el mismo número de cromosomas que la célula de partida (en la especie humana son 46)—, las células sexuales, en cambio, se forman a través de un proceso llamado *meiosis*, en el que hay dos divisiones sucesivas que dan lugar a cuatro células, cada una de las cuales tiene la mitad de

Inmediatamente después de la fecundación comienza la segmentación, primera fase del desarrollo embrionario. El huevo se divide por mitosis formando cierto número de células llamadas *blastómeros*, hasta alcanzar el estadio de *blástula*. Este proceso puede durar varias horas o varios días. En el esquema superior aparecen algunos tipos de huevo de distintos animales, y su proceso de segmentación: a la izquierda, un huevo oligolecítico (*Anfioxus*), con poco vitelo,

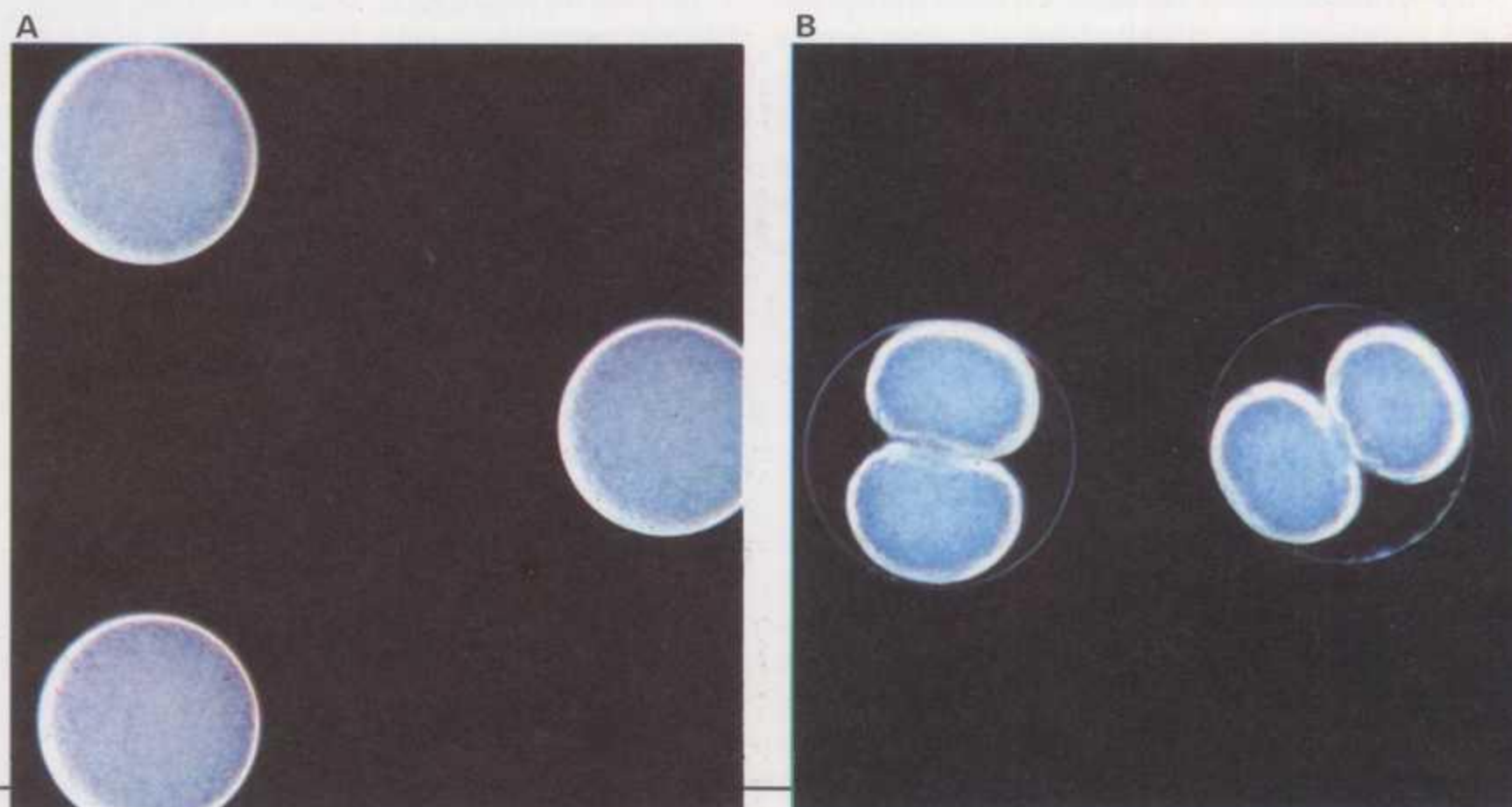
repartido de forma regular, y una división total e igual; los blastómeros son todos idénticos. En el centro, un huevo centrolecítico (Insectos): el vitelo es periférico, y la segmentación es superficial. A la derecha, un huevo telolecítico (Anfibios), con abundante vitelo en el polo vegetativo: la segmentación es total pero desigual, por lo que los blastómeros también son desiguales. En la secuencia junto a estas líneas vemos el desarrollo de un huevo de erizo de mar.



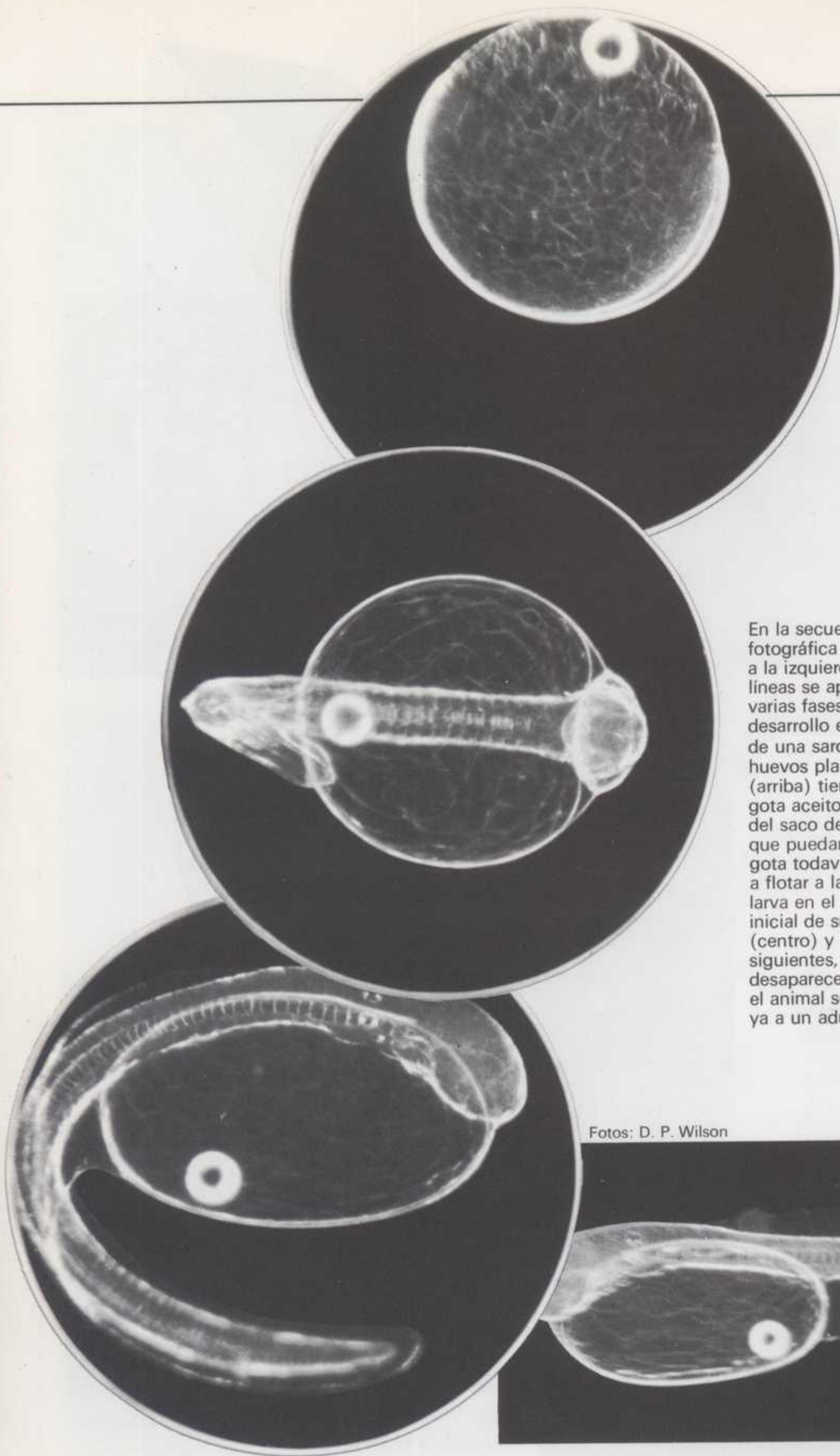
los cromosomas de la célula de partida. Tras la meiosis, la célula empieza a crecer.

Cuando está maduro, el huevo se desprende del ovario y se prepara a recibir al espermatozoide. La unión de la célula sexual femenina (célula-huevo) con la célula sexual masculina (espermatozoide) da lugar a una célula con la dotación cromosómica completa. Las células-huevo suelen ser las más grandes del organismo. El huevo crece gracias a la acumulación del vitelo, formado por proteínas, hidratos de carbono y otras sustancias nutritivas. Dado que los cromosomas procedentes de los dos progenitores se unen en una combinación nueva y única, el resultado de esa unión también será único.

Fecundación Tanto el número de huevos que se produce como su tamaño, forma y revestimiento exterior, o el lugar donde se desarrolla el embrión, dependen del tipo de fecundación. Entre los animales inferiores es corriente la producción de miles de huevos. Entre los acuáticos, especialmente en el caso de los peces, el número de huevos puede alcanzar cifras astronómicas: el pez luna hembra, por ejemplo, pone 28 millones de huevos en cada ciclo. Las condiciones en que se desarrollarán estos huevos son muy precarias, por lo que se hace necesaria una gran cantidad de ellos para garantizar la continuidad de la especie. Los huevos flotan en la superficie, esperando que un pez



Fotos: D. P. Wilson



En la secuencia fotográfica que figura a la izquierda de estas líneas se aprecian varias fases del desarrollo embrionario de una sardina. Los huevos planctónicos (arriba) tienen una gota aceitosa dentro del saco del vitelo para que puedan flotar. La gota todavía ayuda a flotar a la pequeña larva en el estadio inicial de su desarrollo (centro) y en los siguientes, hasta desaparecer cuando el animal se parece ya a un adulto.

Fotos: D. P. Wilson

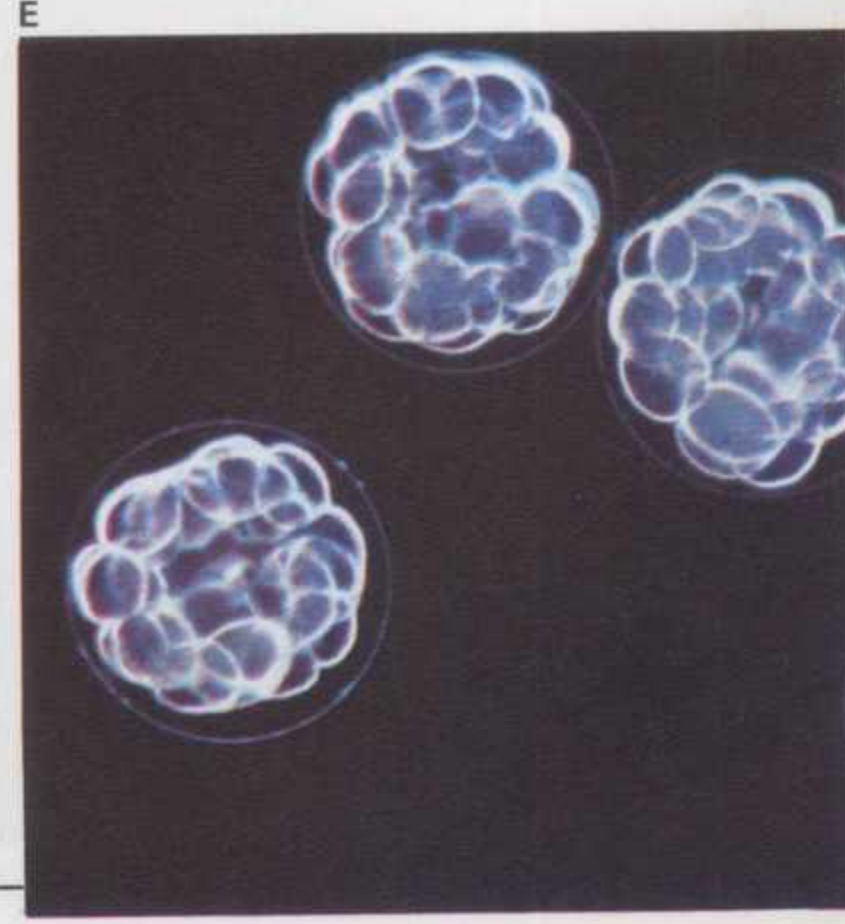
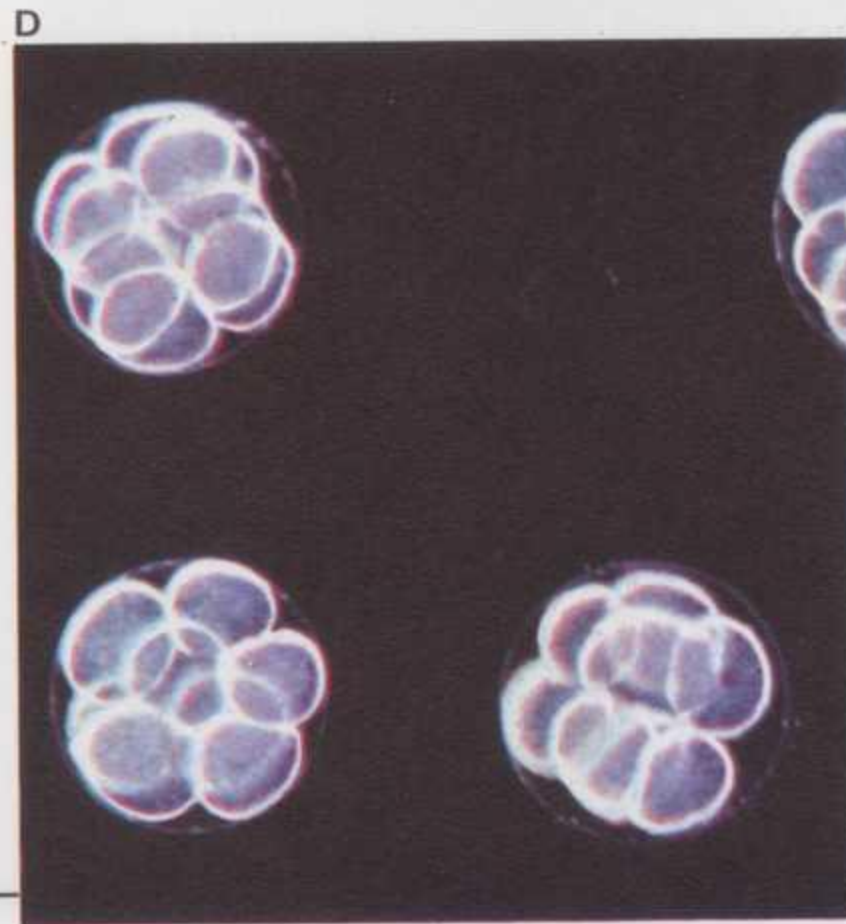
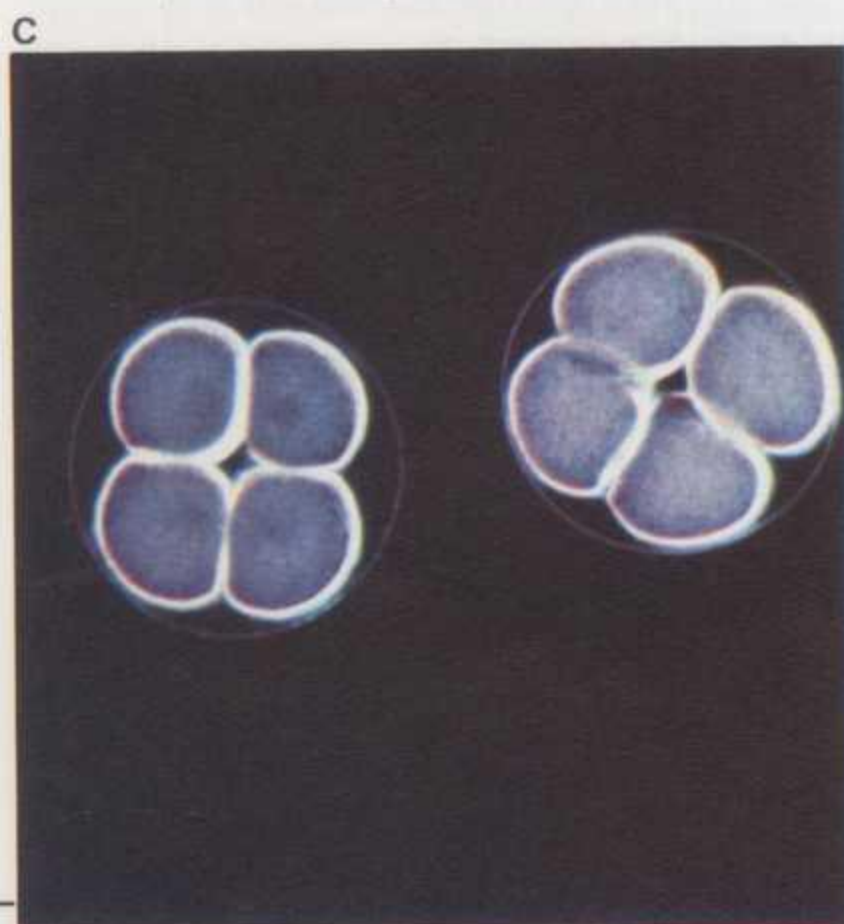
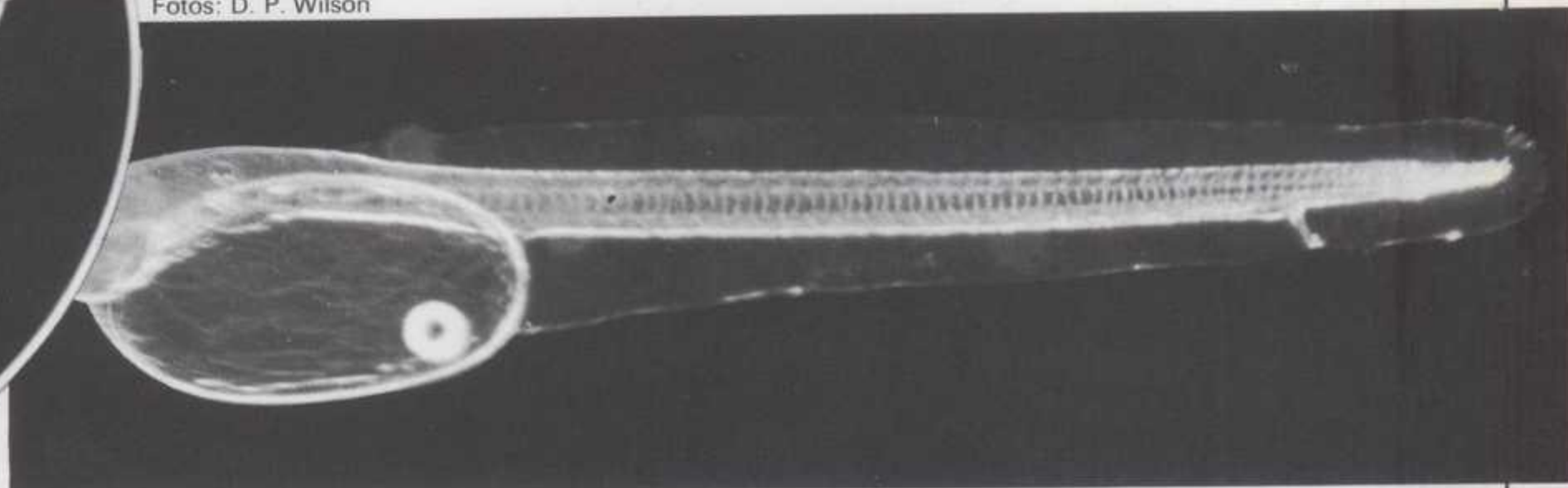
luna macho los fecunde. Otros peces cuidan un poco más sus huevos: los espinosos, por ejemplo, construyen nidos. Casi todos los huevos de los peces se fecundan fuera del cuerpo de la hembra; no obstante, se dan casos singulares, como el de los caballitos de mar machos, que tienen una bolsa marsupial en la que protegen los huevos fecundados hasta que salen las crías.

Los huevos de las aves se fecundan dentro del cuerpo de la madre, pero se desarrollan fuera. Tienen gran cantidad de clara y una cáscara protectora fuerte.

Los huevos de los mamíferos se fecundan y se desarrollan dentro del cuerpo materno. Se trata de huevos relativamente pequeños, ya que sólo tienen que suministrar alimento durante los primeros días de desarrollo del embrión, hasta que el huevo se fija en el útero y se conecta a la madre con el cordón umbilical, siendo desde entonces alimentado directamente por ella.

Los huevos de las aves aventajan a los de otros animales (incluido el hombre) en cuanto a contenido alimenticio; son ricos en vitaminas (excepto vitamina C) y en minerales (a excepción del calcio) y además contienen gran cantidad de proteínas.

Véase **Concepción; Fecundación e inseminación artificial; Embrión y Embriología; Hembra; Macho; Reproducción**



Impermeabilización

El agua se define a menudo como fuente de vida; sin embargo, por razones de comodidad y salubridad, necesitamos también protegernos de ella. De ahí que el hombre se ponga en ocasiones ropas impermeables y viva en casas que le aíslan de la lluvia y de la humedad del suelo.

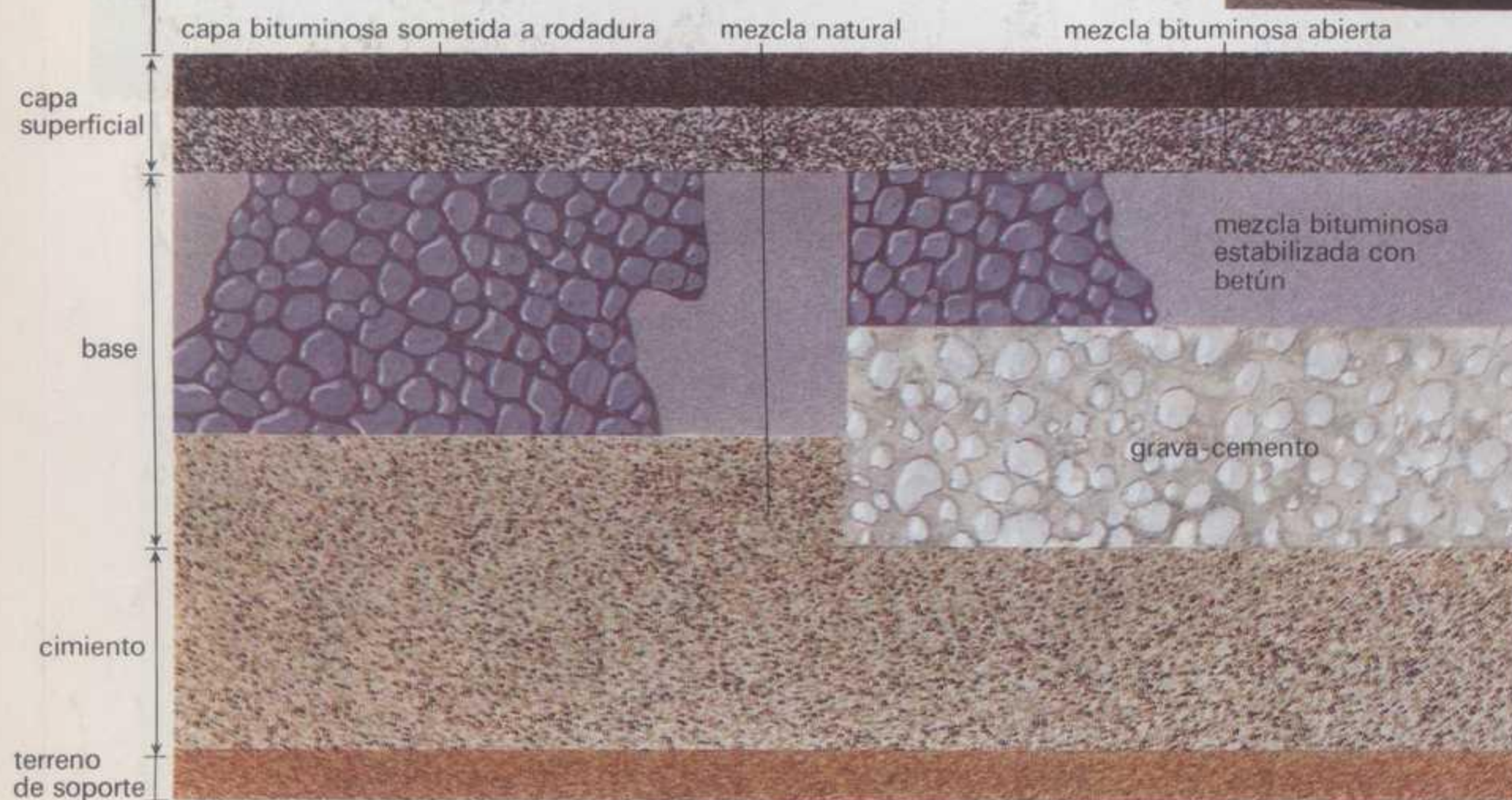
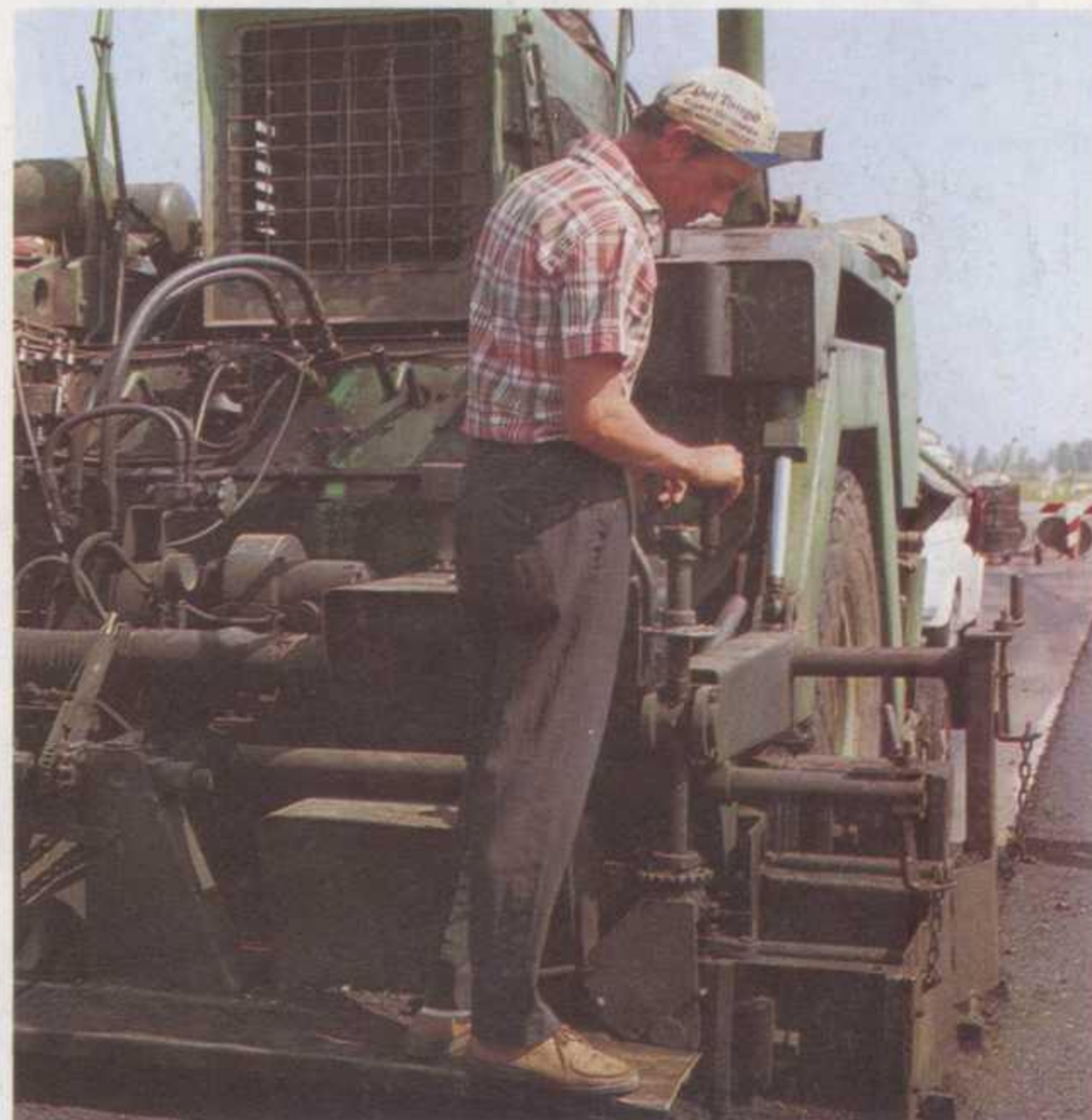
La mayor parte de las cosas que se pueden deteriorar si están expuestas al agua puede hacerse impermeable: por ejemplo, los cables eléctricos subterráneos se recubren de plástico para evitar el deterioro por parte del agua o del aire. Un material se define como *impermeable* si el agua no es capaz de penetrar en su interior.

Métodos para obtener la impermeabilización El método más simple consiste en cubrir el objeto con alguna sustancia impermeable que lo aíslé del líquido. La segunda técnica fundamental para la impermeabilización consiste en tratar un material con sustancias químicas para convertirlo en *hidrófobo*: las gotas de agua que entran en contacto con el material no se adhieren a su superficie ni penetran en los huecos, sino que resbalan por ella.

La diferencia principal entre las sustancias impermeables y las hidrófugas o hidrófobas está en el hecho de que las primeras bloquean e impiden también el paso del aire y del vapor de agua, además de evitar que penetre el agua en estado líquido.

Ropas impermeables Los dos métodos anteriores se emplean para hacer impermeables ciertos tejidos utilizados en la confección de prendas de vestir: muchos impermeables están recubiertos con una capa de goma o plástico. Sin embargo, esas ropas son poco higiénicas debido a que la capa impermeable bloquea el paso de aire y humedad, no permitiendo la transpiración; de ahí que estas prendas resulten incómodas por falta de transpiración. Ello ha hecho que hoy día numerosos tejidos usados para la confección de prendas de vestir estén tratados de manera que se conviertan en hidrófugos, y pue-

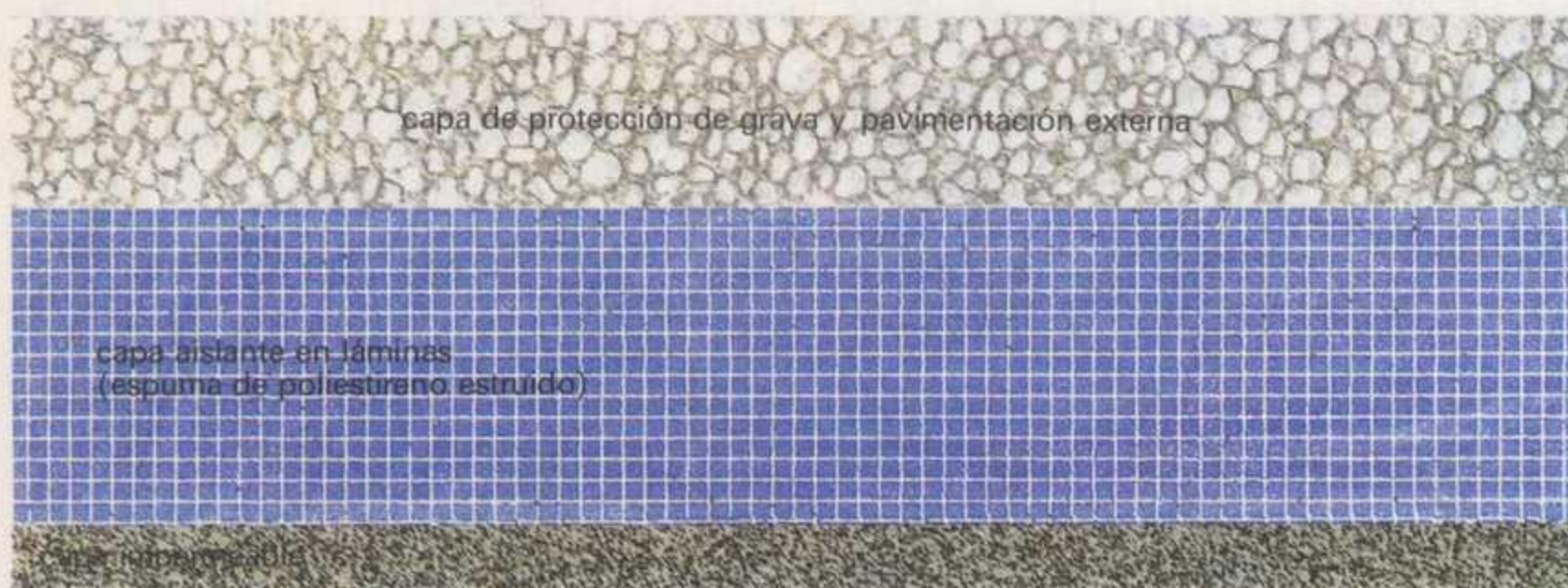
Para disponer de autopistas en buenas condiciones, hay que construir la infraestructura del pavimento teniendo en cuenta el tipo de suelo; además, para su mantenimiento, hay que reparar con cierta frecuencia el manto bituminoso superficial. Las fotos de esta página muestran dos fases de la pavimentación. El agua consigue penetrar a través del manto de asfalto en los puntos donde el tráfico deteriora más el estrato superficial; si hiela, puede llegar a romper la capa de asfalto, dejando la superficie irregular y formando huecos donde el agua se estanca. El dibujo de abajo presenta, en sección, la infraestructura de aglomerado bituminoso.



dan "respirar", resultando por ello más cómodos e higiénicos.

La madera se transforma en hidrófuga tratando su superficie expuesta con un compuesto hidrófugo.

Existen cinco tipos de tratamientos químicos de uso normal, basados en los siguientes compuestos: 1) *jabones disueltos* —compuestos que contienen ácidos grasos— de algunos metales, por ejemplo, jabones de aluminio, plomo o cinc; 2) *proteínas y otras resinas a base de nitrógeno*; 3) *reacciones de polímeros*, que combinan una sustancia química hidrófuga con celulosa; 4) *compuestos orgánicos de silicio*, como las resinas de siliconas; 5) *hidrocarburos fluorados*, es decir, sustancias químicas orgánicas obtenidas de compuestos de flúor. Tales tratamientos pueden ser duraderos o necesitar frecuentes renovaciones.



soporte (solera de hormigón o elementos prefabricados de hormigón)

El recubrimiento de la cubierta de un edificio se ha resuelto tradicionalmente con tejas y planos inclinados para garantizar el aislamiento y la impermeabilización (abajo, a la derecha). Con el transcurrir del tiempo, sin embargo, las tejas se deterioran y se desplazan, y el agua empieza a filtrarse. Hoy día, nuevos materiales y técnicas más modernas permiten construir tejados bien aislados térmicamente y con un alto grado de impermeabilización (abajo, a la izquierda), a veces aprovechables como terrazas, jardines colgantes o aparcamientos para automóviles.

Las tres pequeñas fotos de abajo muestran las diversas fases de impermeabilización de una cubierta (1), sobre la cual se colocan láminas de aislante térmico (también éste impermeable) (2); se procede después a proteger la lámina con grava (3) y, finalmente, a cubrir el conjunto con la pavimentación. El dibujo de aquí arriba (a la izquierda) muestra la sección de una cubierta plana ejecutada con el procedimiento expuesto (se llama también "cubierta invertida", porque el aislante térmico —de espuma de poliestireno estruido— está situado externamente al estrato impermeable).



Impermeabilización de edificios Los edificios constituyen, entre otras cosas, un resguardo ante la lluvia; por este motivo, deben impermeabilizarse las paredes y los techos. Pero el agua puede filtrarse también en el interior del terreno sobre el cual está construido el edificio; por lo tanto, también los cimientos y las superficies de solado deben ser impermeabilizadas. Pero el grado necesario de aislamiento varía mucho, especialmente en función del clima. De ahí que sean numerosos los materiales y las técnicas que pueden utilizarse para dichos fines.

El hormigón es uno de los más importantes materiales de construcción; sin embargo, el hormigón siempre mantiene innumerables huecos pequeñísimos (poros) y conductos capilares a través de los cuales el agua puede penetrar y difundirse lentamente, sobre todo si está sometida a una determinada presión. Ahora bien, mediante la adición de ciertos compuestos, como el aceite mineral o sales de ácidos grasos, se puede convertir el hormigón en hidrófugo. Pero si el hormigón está sometido al contacto con agua a cierta presión, debe protegerse también mediante un recubrimiento que consiste generalmente en una capa de materiales impermeables.



Los más utilizados para este fin son los materiales bituminosos, empleados en forma de membranas prefabricadas desde finales del siglo XIX. Se pueden clasificar en: productos elaborados que se aplican *in situ*, en el lugar mismo de utilización; y productos prefabricados que ya están listos para ser utilizados y que se presentan en forma de rollos o placas. Estos últimos, que son los más importantes, constan de tres componentes fundamentales: masilla (*mástic*) bituminosa (de asfalto o de alquitrán), armadura (fieltro, tejido o lámina) y material de terminación (de protección y antiadherente). El número de capas de la membrana aumenta con la presión del agua a que estará sometida.

Más modernamente se están empleando también láminas plásticas o elastoméricas, que, aunque más caras, son más sencillas de poner en obra y más resistentes a las bajas temperaturas.

Véase **Agua; Asfalto; Carreteras y autopistas; Cimientos; Edificios, construcción de; Hidrocarburos; Hormigón; Tejados y cubiertas**

Impresión

Las palabras que ahora lee, impresas en estas páginas, representan el resultado de casi dos mil años de trabajo en el arte y en la ciencia de la imprenta. El desarrollo más significativo tuvo lugar durante los últimos quinientos años y comenzó con la invención por Johan Gutenberg (1400-1468) de una prensa de impresión con caracteres móviles, en el año 1435. Esta máquina revolucionaria iba a significar el comienzo de la difusión masiva y en serie de libros y de otros impresos. Si bien la primera prensa imprimió únicamente un pequeño número de Biblias, fue la más directa predecesora de las modernas imprentas que producen millones de copias diarias de libros, revistas y periódicos.

Historia Se atribuye a los chinos la invención de ciertas matrices de imprenta, a finales del siglo II a. de C, que consistían en imágenes y caracteres tallados en bloques de madera. Se recubrían con una ligera capa de tinta, después se colocaba el papel sobre éstos y se frotaba con un pincel en el reverso, presionando la tinta

de los bloques contra el papel. El primer libro conocido, *El Diamante Sutra*, fue impreso en China, en el año 868, utilizando matrices de imprenta.

Gutenberg introdujo dos importantes mejoras en las matrices de imprenta. La primera fue la utilización de tipos sueltos de letras, obtenidos recortando materiales metálicos, de los que se podía obtener matrices de las propias letras. De esa forma se podía hacer una línea de caracteres de imprenta, poniendo las matrices de las letras según la imagen especular de lo que debía aparecer en la página impresa. Este procedimiento dejó anticuado el proceso de las matrices de imprenta talladas en madera, puesto que, una vez obtenida la matriz de cada letra del alfabeto (cada una de las cuales se repetía cierto número de veces en función de la frecuencia de uso), una página se podía componer con relativa rapidez y, después de su uso, desmontarla, pudiendo utilizar nuevamente los caracteres.

La prensa de imprenta de Gutenberg fue su segunda más importante mejora en los procedimientos de impresión. Estaba

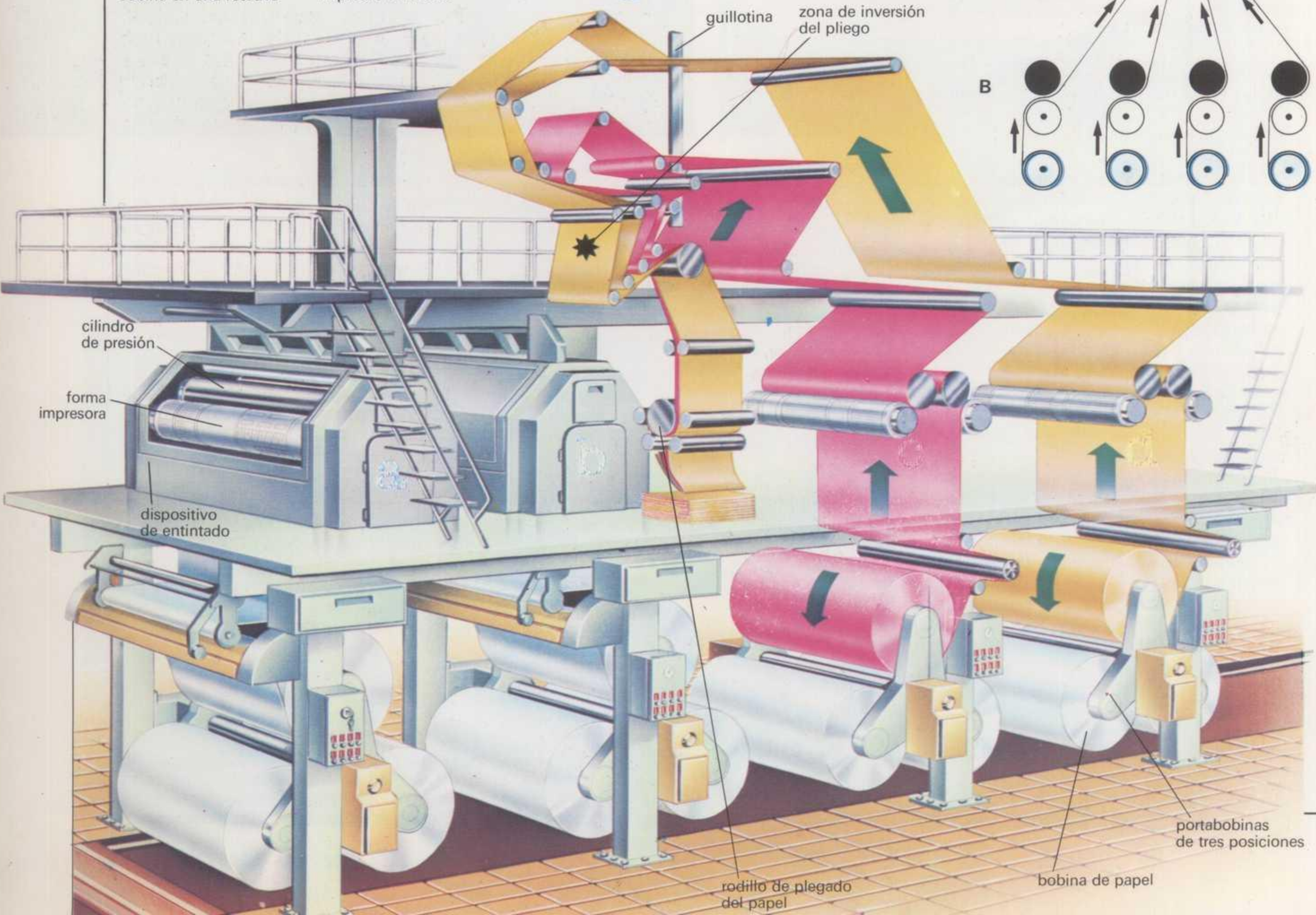
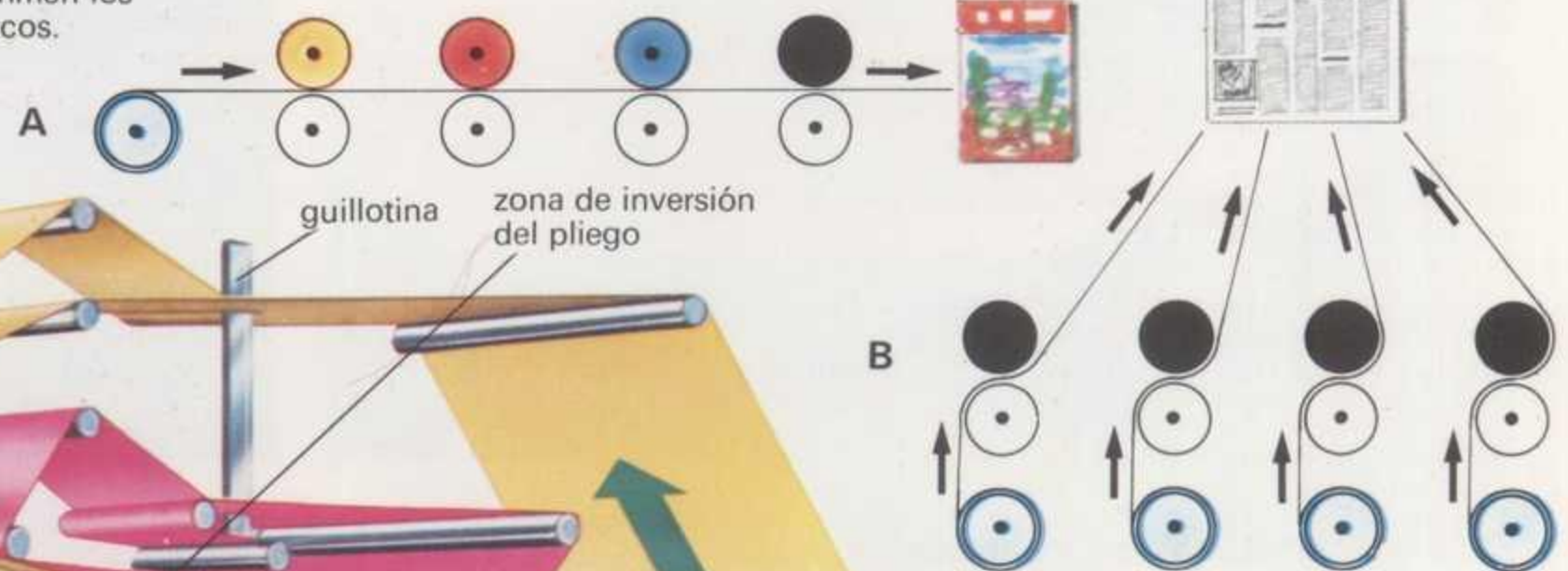
formada por una superficie plana, fija, conocida como *plano*, sobre la que estaba suspendida la *platina*, una superficie plana y lisa que podía moverse hacia arriba o hacia abajo con un tornillo. Una vez colocados los caracteres, éstos quedaban fijados a la *forma* mediante una tela metálica situada en el plano inferior. Los caracteres se impregnaban después con tinta, el papel se colocaba encima y la platina, movida con el tornillo, presionaba el papel entre ésta y los caracteres entintados. Después se levantaba la platina y se retiraba el papel impreso. Se observó que con este procedimiento se obtenían impresiones mucho más nítidas que utilizando simplemente tipos de imprenta; además se podía imprimir en las dos caras del papel. Aparte de algunas mejoras, este modelo de prensa permaneció casi invariable durante más de 300 años.

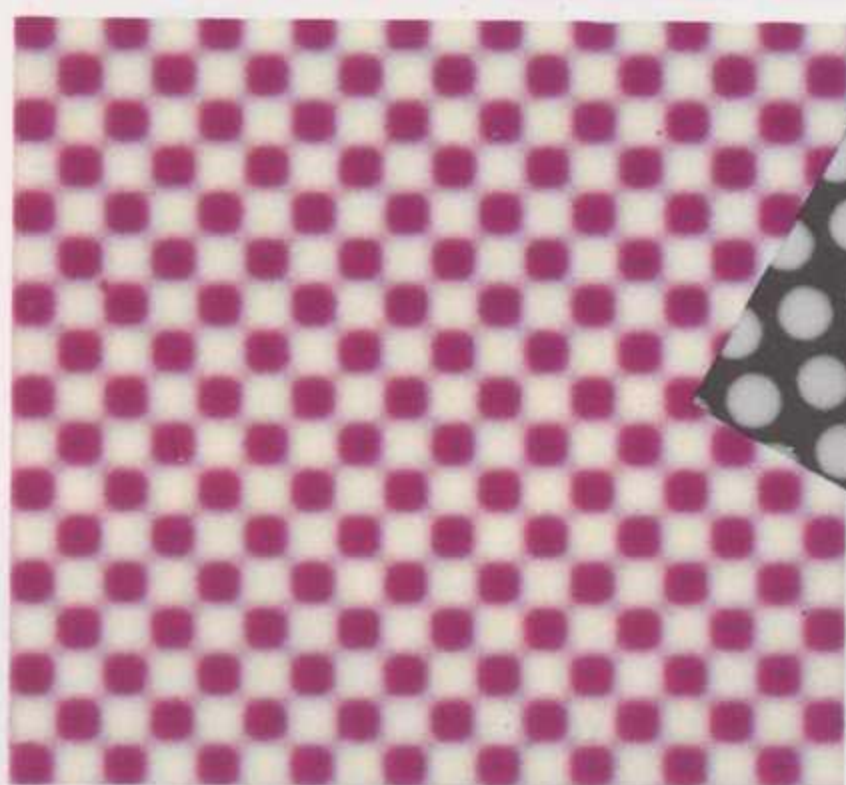
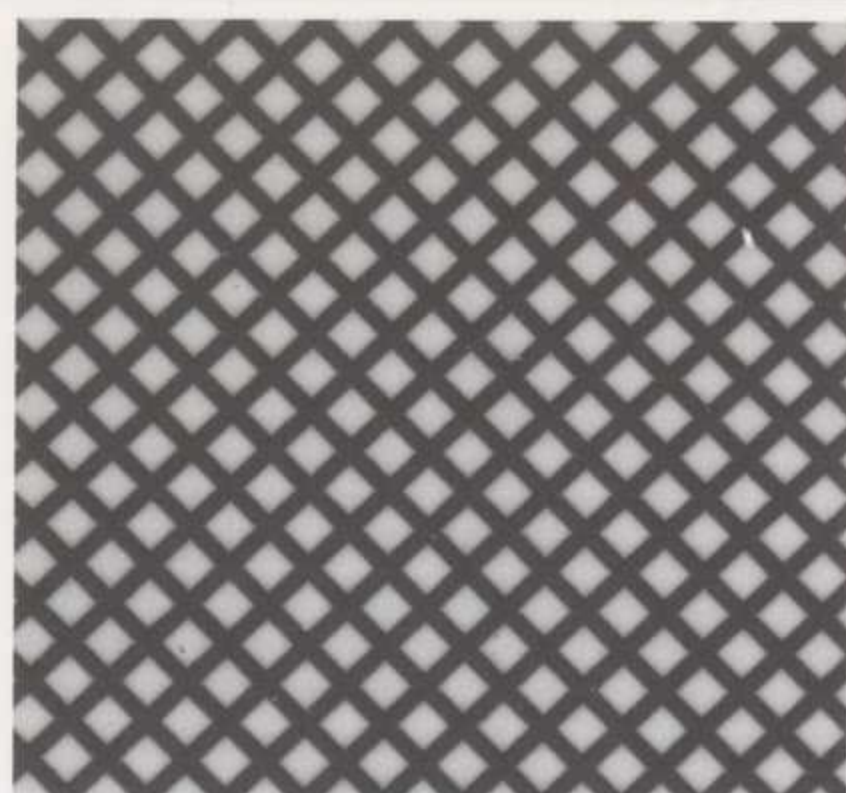
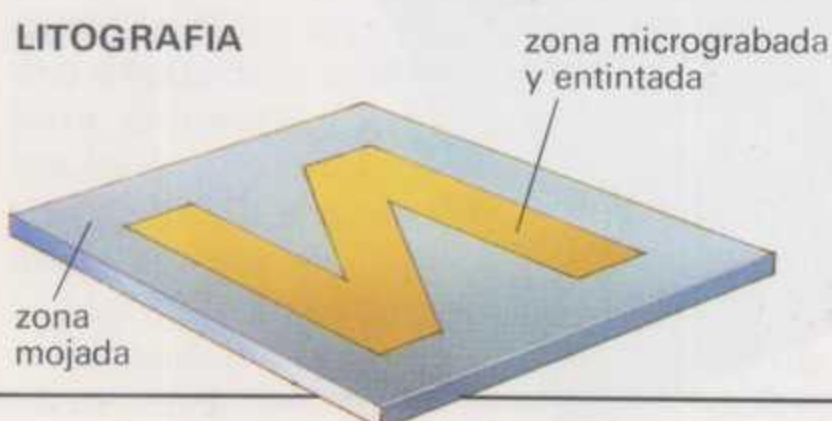
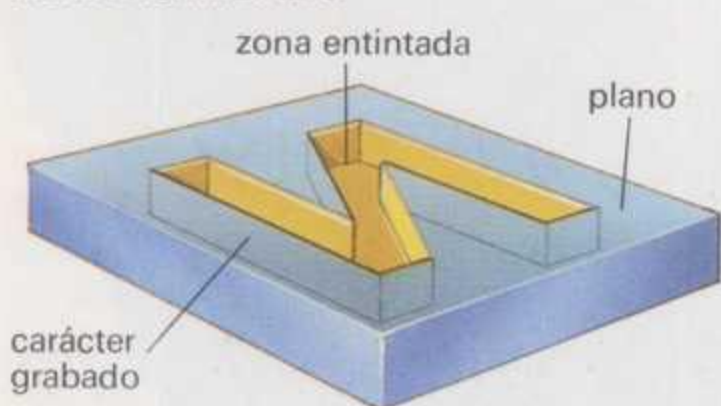
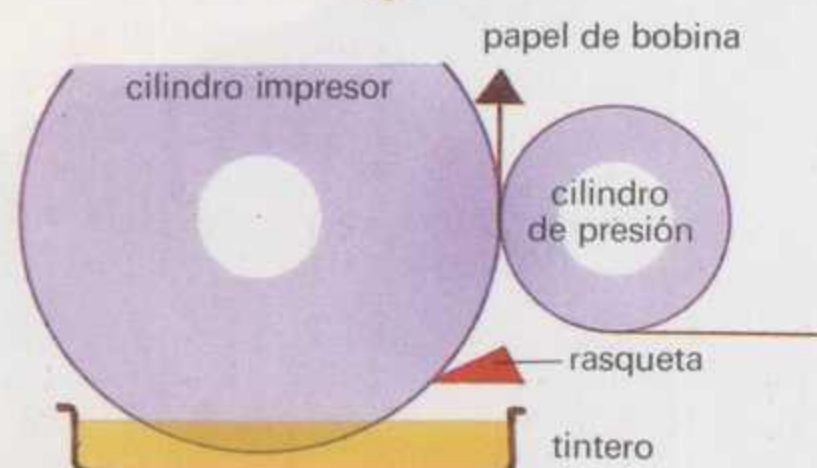
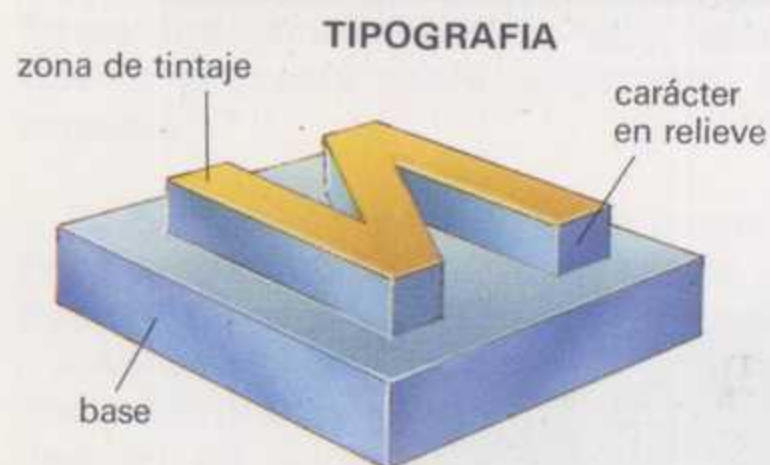
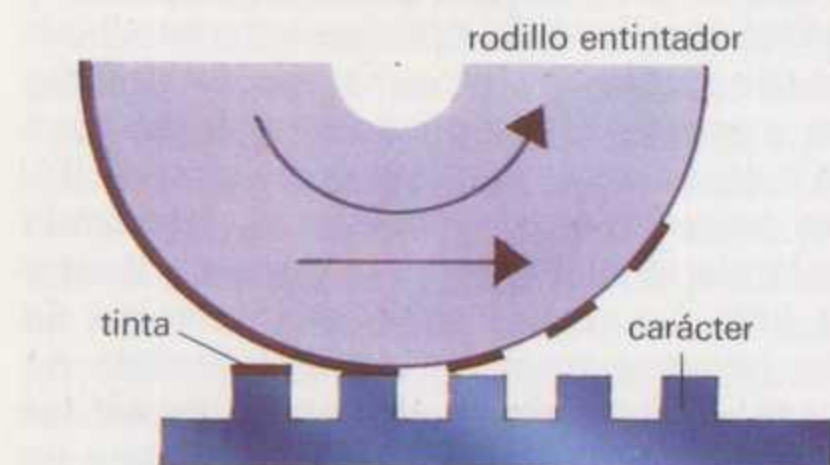
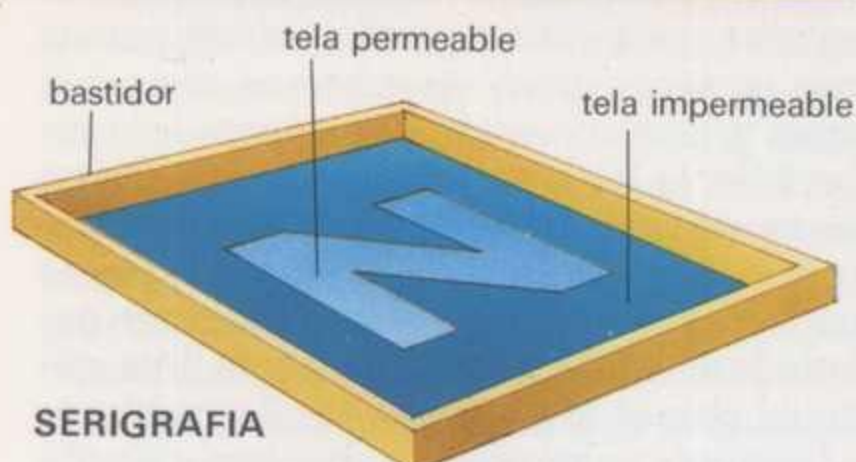
Impresión en relieve o tipográfica Hoy en día los tres procedimientos más importantes de impresión son: el tipográfico, el de huecograbado y la impresión *offset*, con sus respectivas variantes.

En esta ilustración se muestra el esquema de una rotativa adecuada para imprimir en blanco y negro o color. En (A) se indica el recorrido del papel de una bobina en una rotativa

de cuatro colores que produce un único pliego de papel impreso por ambas caras. En (B) se indican los recorridos del papel procedente de cuatro bobinas que, impresas a un solo

color y por ambas caras, forman un paquete. De esta forma se imprimen los periódicos.





La imagen de la izquierda representa la retícula utilizada en el proceso de huecogrado para crear los huecos que dividirán la imagen en puntos. Debajo, trama generadora que descompone el tono continuo en reticulado, adecuada para una forma litográfica o

litografía. Esta producirá una impresión constituida por puntos equidistantes y superficie variable que dan el tono deseado. Bajo estas líneas, la imagen aumentada de una retícula de color negro con una cobertura del 60% aproximadamente.

Baguzzi, Archivo Fabbri

La impresión tipográfica utiliza varias de las técnicas que Gutenberg desarrolló hace más de 500 años. Para este tipo de impresión se utilizan letras metálicas en relieve, que se obtienen rellenando con una aleación de plomo, estaño y antimonio las matrices de las letras. Cuando se imprime en tipografía, los caracteres se pueden colocar a máquina o manualmente. Cuando la operación ha sido realizada manualmente, el tipógrafo elige cada una de las letras necesarias para formar una línea, tomándolas de una caja en la que se encuentran los caracteres ya preparados y clasificados. Existen dos máquinas capaces de componer los caracteres: la *linotipia* y la *monotipia*. Ambas máquinas tienen teclados semejantes a los de las máquinas de escribir, que se pulsan para seleccionar las letras en el orden debido, acción que se denomina *componer*. Cuando el operario pulsa una tecla en la linotipia, la matriz de la letra seleccionada cae automáticamente desde un almacén de la máquina hasta una cinta transportadora que la coloca en su posición en la línea a componer. Una vez que la línea está com-

puesta, se rellena con una aleación metálica que completa los espacios entre cada palabra de forma uniforme, hasta que la línea alcanza la longitud deseada. Por el contrario, las pulsaciones a máquina del operario en una monotipia no seleccionan directamente las matrices a utilizar, sino que la máquina perfora una cinta de papel —cada letra tiene su código especial de perforación—. Posteriormente la cinta de papel se introduce en una fundidora, que forma las letras a componer por las matrices seleccionadas según las perforaciones de la cinta. Las linotipias componen las líneas completas con caracteres en relieve y de una sola vez, mientras que la monotipia compone con caracteres por separado.

Cuando la forma está compuesta, existen tres tipos diferentes de máquinas para imprimir: la *de platina*, la *plano-cilíndrica* y la *rotativa*.

Las prensas de platina tienen dos superficies lisas y planas: una es la forma entintada y la otra es una plancha de presión. El papel que se desea imprimir se coloca entre las dos superficies y se prensa. El método de la prensa de platina descende directamente de la prensa de Gutenberg, y todavía se utiliza para imprimir circulares y folletos publicitarios. La máquina plano-cilíndrica utiliza la combinación de una forma tipográfica plana con un rodillo entintador que pasa sobre ella y un cilindro que arrastra y presiona el papel sobre los caracteres de la forma tipográfica. Este tipo de prensa se utiliza para imprimir en cartón y algunos tipos de libros.

Junto a estas líneas se esquematizan los procesos más normales, con sus formas y matrices correspondientes. Por orden: *serografiado*, en el que, mediante una rasqueta, pasa la tinta a través de la parte permeable de la forma; *tipografiado*, en el que

la zona impresora está a un nivel superior que la zona no impresora; *huecogrado*, en el que la zona impresora —lipófila— y la no impresora —hidrófila— están en un mismo plano (la tinta, la grasa, y el agua se repelen por acción físico-química).

El tercer tipo de prensa, la rotativa, posee dos cilindros —uno que tiene los caracteres y otro de impresión— que están en estrecho contacto. En la operación de impresión, el papel pasa entre ambos cilindros. Las rotativas se utilizan en la producción de libros y periódicos de gran tirada, ya que para tiradas cortas no resultan rentables.

Impresión en huecograbado El huecograbado es lo contrario de la impresión tipográfica. Los caracteres no aparecen en relieve, sino en bajorrelieve. La tinta se aplica en la superficie hundida, de forma que llene los huecos; el exceso de tinta se retira con una cuchilla llamada *rasqueta*. Cuando el papel se prensa contra la superficie impresora, la tinta se adhiere al papel formando así la página impresa.

La composición para la impresión en huecograbado se hace a menudo mediante fotocomposición o tipocomposición. La copia de tipocomposición se transfiere fo-

tográficamente a un papel especial denominado *papel pigmento*, que se pega a un cilindro recubierto de cobre que, posteriormente, se sumerge en un baño ácido. El ácido ataca únicamente las partes del metal en las que está la imagen fotografiada; en la práctica, ataca sólo los caracteres que deben ser impresos. Cuando termina este proceso de grabado de la superficie, el cilindro se monta en una rotativa de impresión. Si bien éste es un procedimiento caro, se está mejorando el proceso de preparación de la matriz de huecograbado y ahora ya es posible grabar directamente el texto y las imágenes sobre la superficie impresora mediante procedimientos electrónicos.

Impresión en offset Al contrario que en la impresión tipográfica o en la de huecograbado, en el sistema *offset* no se utilizan superficies en relieve o grabadas; este proceso está basado en el hecho de que la tinta se adhiere a algunas sustan-

cias y es repelida por otras. Conocida también como *impresión planográfica*, la impresión en *offset* tuvo sus comienzos en el siguiente fenómeno físico-químico: si se escribe sobre una superficie microporosa con un lápiz graso, después se moja con agua y, posteriormente, se entinta esta superficie, la tinta permanece solamente en las zonas grasas. Como en el caso de la impresión en huecograbado, los caracteres para la impresión en *offset* se preparan generalmente por fotocomposición. Una película con el texto y con las ilustraciones a imprimir se proyecta sobre una plancha *offset*, que ha sido previamente recubierta con sustancias fotosensibles. La plancha se sumerge en un producto que disuelve la sustancia fotosensible que no ha recibido proyección de caracteres, quedando solamente su imagen, a la que se adherirá la tinta. La prensa *offset* se diferencia de las prensas rotativas en que la tinta no pasa directamente al papel desde las planchas. La tinta, en este caso, pasa a un



Arriba, máquina de composición linotipia. Pulsando una tecla, la matriz del carácter correspondiente descende a un alojamiento. De esta manera se compone una línea; ésta se traslada y se ajusta en el fondo de un paralelepípedo cóncavo en el que tiene lugar la colada. La línea compuesta de esta manera se extrae y se coloca en un plano inclinado sobre la línea anterior; las matrices se devuelven al almacén del cargador. Al lado, página compuesta por líneas de linotipia.

línea de plomo fundida en la linotipia



cilindro cubierto de caucho que, al girar, la transfiere al papel.

Fotocomposición Cuando se pulsa un botón del teclado de una máquina de fotocomposición —muy parecido al de una máquina de escribir— se proyecta, en el interior de la máquina, un rayo de luz a través de un disco de cristal con imágenes negativas de letras y números. Una imagen de la letra se proyecta sobre el papel o película fotosensible, que después se revela. De la misma manera que la linotipia y la monotipia, estas máquinas de componer producen material listo ya para la impresión; además, las máquinas de fotocomposición tienen una memoria que almacena los caracteres, de manera que las correcciones se pueden efectuar antes de que el material se transfiera a la película. La fotocomposición se utiliza en muchos procedimientos de impresión, especialmente en *offset* y en huecograbado. Con los modelos más modernos, el carácter se forma directamente con un tubo catódico que lo proyecta sobre el material fotosensible.

Ilustraciones impresas Las ilustraciones a reproducir mediante impresión pueden ser dibujos formados por líneas más o menos entrecruzadas, dibujos difuminados o fotografías (que, naturalmente, pueden ser en color o en blanco y negro).

La imagen a líneas se llama *rayado*. Para su reproducción se realiza una fotografía, efectuada con un determinado tipo de película, dándole el formato y tamaño requeridos; si es en color, se necesita una fotografía para cada uno de los colores básicos que la componen —por ejemplo: un rayado verde se obtiene con la fotografía del cyan y la del amarillo—.

Los dibujos difuminados —llamados *bocetos*— y las fotografías, deben experimentar una transformación de tono continuo a tono discontinuo antes de poder ser utilizados para imprimir; la modulación tonal ya no estará constituida por una difuminación, sino por pequeños puntos equidistantes, de superficie variable: este efecto se obtiene mediante un proceso fotográfico llamado *reticulado*. Si las imágenes son en color, antes del reticulado es necesario obtener —en un proceso fotográfico llamado *selección*— cuatro imágenes monocromáticas relativas a los colores utilizados y correspondientes a la cantidad de color primario necesaria para formar, por mezcla, cada color del dibujo. La selección se lleva a cabo fotográficamente, utilizando, para extraer los colores del original, los filtros complementarios de los colores de las tintas utilizadas: el filtro azul para el amarillo, el filtro verde para el magenta, el filtro rojo para el cyan (azul), y una exposición múltiple con los tres filtros para el negro. En la actualidad existen equipos electrónicos —escáner— capaces de realizar selección y reticulado simultáneamente.

Las películas fotográficas así obtenidas —llamadas *matrices* o, simplemente,



amarillo

magenta

cyan

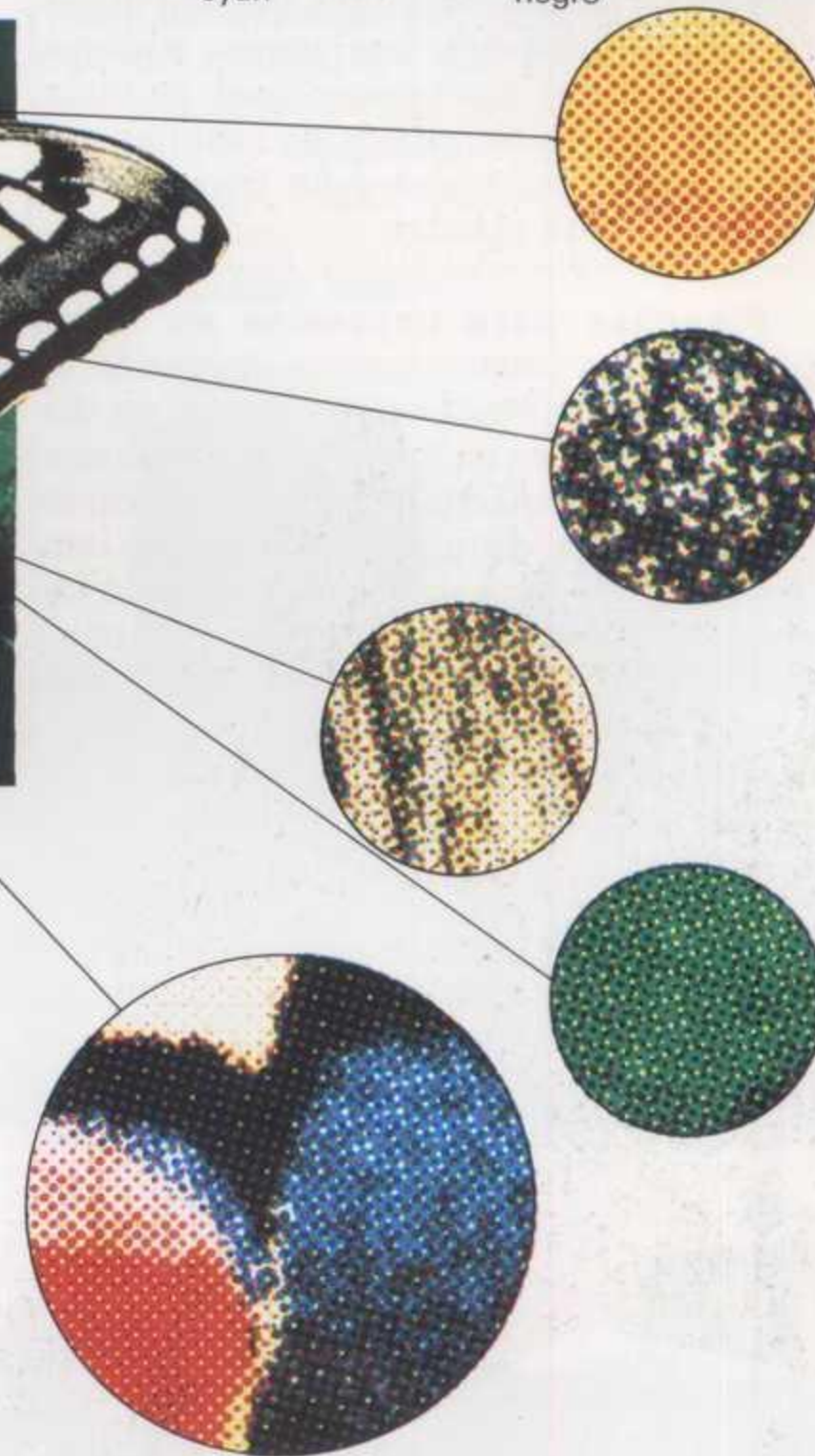
negro



G. S. Giacomelli, Nápoles

Junto a estas líneas, representación del proceso con el que se realiza la impresión de un dibujo en color. Cualquier color está formado por la mezcla de los tres colores primarios: amarillo, magenta y cyan. Arriba, imágenes monocromáticas, de cuya yuxtaposición se obtienen los colores de la mariposa; el negro sirve únicamente para aumentar la profundidad de las sombras, mejorando,

por lo tanto, el contraste de la imagen. Cada color —véanse aumentados en los círculos— se ha obtenido mediante puntos equidistantes, más o menos grandes, de uno o varios colores. Las tintas de imprimir son transparentes, de manera que un color impreso sobre otro no lo tapa; por el contrario, suma su efecto colorante al de las otras tintas de capas inferiores.



films— se utilizan para la preparación de la forma de impresión. En el proceso de huecograbado el reticulado tiene lugar en el momento de la preparación de la forma.

Otros procesos de impresión Otros dos procesos de impresión son la *xerografía* y la *serigrafía reticulada*.

La *impresión xerográfica* es el procedimiento más utilizado en las máquinas de oficina. El papel sobre el que se debe efectuar la copia se coloca sobre una plancha recubierta de selenio, elemento que se carga de electricidad cuando está expuesto a la luz. Cuando una imagen luminosa del documento a copiar se refleja en el papel, las zonas oscuras reciben una carga positiva que atrae el polvo de imprimir, cargado negativamente. El polvo

se adhiere en las zonas que deben quedar impresas y después se calienta durante un breve espacio de tiempo, con lo que el polvo queda fijado en el papel; se obtiene así una copia bastante exacta del original.

La *serigrafía* utiliza un molde de tejido en el que se ha obtenido fotográficamente la imagen a imprimir. Sobre el molde se vierte la tinta; la tinta se deposita en las zonas impermeabilizadas del molde, pasando a través de la trama del tejido por donde está la imagen, formando otra imagen —a semejanza del original— sobre el papel u otro material puesto bajo el molde.

Véase **Escáner; Fotocopia y fotorreproducción; Impresión en offset; Rotativa**

Impresión en *offset*

La impresión en *offset* es una variante moderna de la imprenta litográfica que consiste en transferir, durante la impresión, la imagen desde la matriz-plancha a una superficie de caucho y desde ésta al papel. El principio aprovechado es el que inventó Aloys Senefelder en 1798, basado en la repulsión físico-química existente entre una sustancia grasa —la tinta— y el agua.

Sobre una piedra porosa especial se trazaba, invertido, con una sustancia grasa, el *grafismo*; después se mojaba la superficie de la piedra y posteriormente se extendía la tinta, que sólo se adhería a aquellas zonas que no habían absorbido el agua, es decir, donde estaban los grafismos. La piedra, entintada de esta manera, se prensaba con una prensa especial sobre el papel. Las operaciones de mojado, entintado e impresión se repetían tantas veces como número de hojas impresas se deseara obtener.

Planchas para impresión en *offset*

Las planchas usuales para la impresión en *offset* están formadas por láminas de distintos materiales en función del proceso al que estén destinadas. Para la impresión de tiradas cortas, de circulares, etc., se emplean planchas de un tipo especial de papel tratado químicamente; para trabajos más difíciles y de mayor tirada, se emplean planchas metálicas. Actualmente está muy difundida la plancha de aluminio.

Todas las planchas de impresión en *offset* se caracterizan por tener dos zonas claramente diferenciadas, una que se moja fácilmente y otra que ha de permanecer seca. El espesor de las planchas es igual o menor a 0,5 mm, en función del tipo de máquina a la que están destinadas; esta característica las hace apropiadas para ser

enrolladas en el cilindro de la máquina impresora.

El dibujo o grafismo se reproduce previamente sobre una película fotográfica especial, y mediante un proceso de tipo fotográfico se transfiere a la plancha, produciendo zonas impresoras, es decir, zonas que no se mojan.

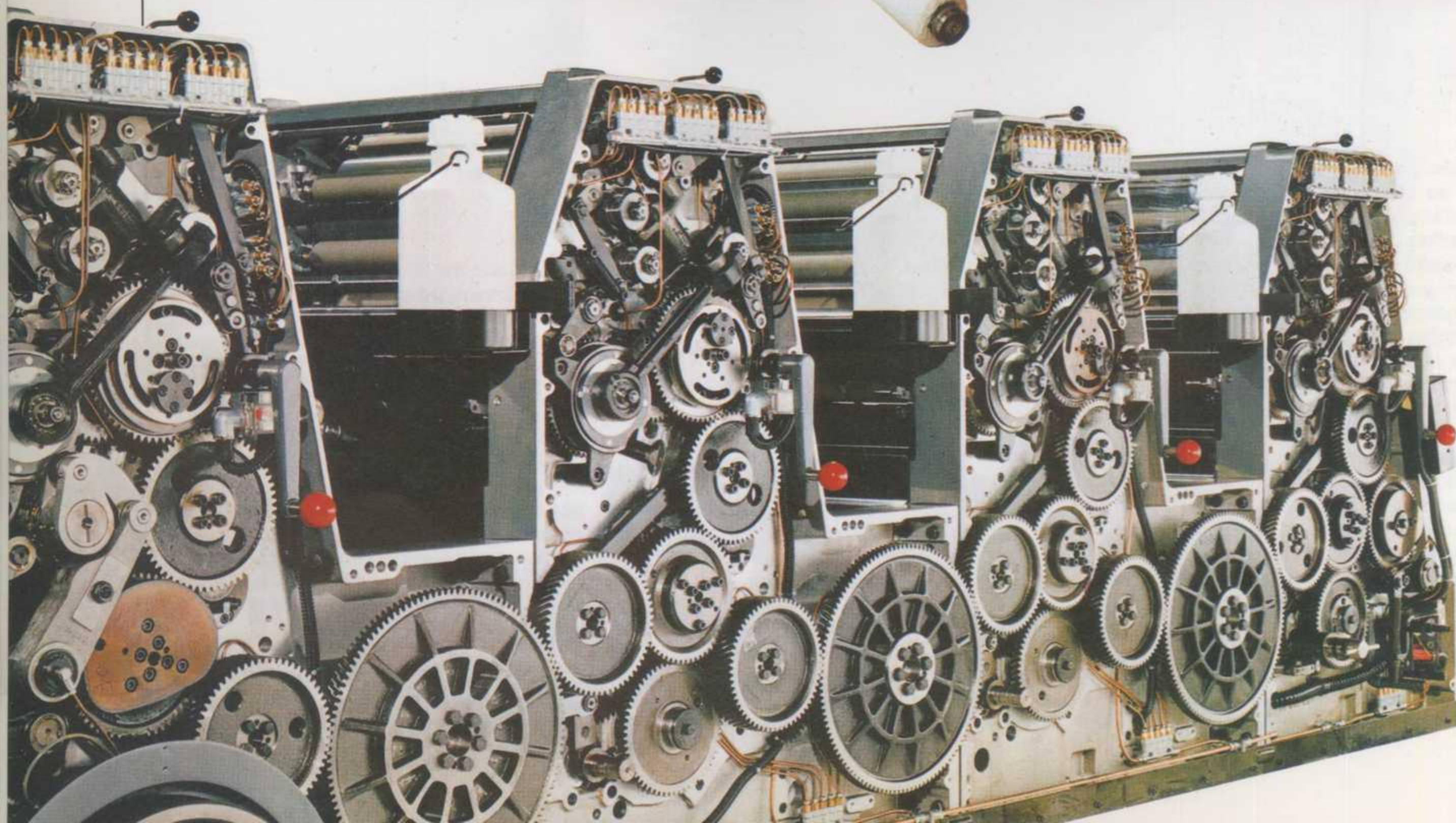
La diferencia de nivel entre la zona impresora y la no impresora es de 0,001 mm. En muchos tipos de plancha la zona impresora, en origen, cubre toda la superficie de la plancha; el tratamiento que crea la zona que se moja —o zona de blanco— consiste en atacar químicamente la zona que no debe ser impresora. Se obtiene así una plancha con la zona impresora en microrrelieve, formada por la resina depositada sobre la zona que se moja, cuya superficie metálica es porosa.

Otros tipos de plancha tienen la zona no impresora formada por un metal poroso superficial sobre otro metal liso situado bajo el primero; el tratamiento consis-

te en eliminar químicamente el metal poroso de las zonas que deberán imprimir. En este caso se obtiene una plancha con la zona impresora micrograbada. Las planchas de papel tienen, por el contrario, una superficie tratada para absorber el agua, sobre la que se traza el grafismo con un lápiz especial o bien con una cinta de máquina de escribir, ambos de tipo graso.

Máquina rotativa para la impresión en *offset* A nivel industrial, la impresión en *offset* se realiza con máquinas rotativas de uno o más colores.

Existen dos tipos de máquina rotativa: la de tres cilindros, que imprime solamente una cara del papel, y la de cuatro cilindros, que imprime por las dos caras. En el primer caso, alrededor del cilindro superior está enrollada la plancha, que se moja y entinta mediante dos dispositivos, situados uno a continuación del otro. En contacto con el cilindro superior —llamado *cilindro portaplanchas*— está situado el *ci-*



En el esquema inferior, una máquina rotativa para impresión en *offset* con alimentación por bobina y sistema de plegado a la salida. Un debobinador con regulador de tensión hace que la banda de papel pase bien tensa entre los cilindros portacauchos superior e inferior y reciba la impresión del primer color; sobre esta imagen con el primer color impreso se superpone exactamente la impresión del segundo color en el momento en que la zona impresa pasa por el segundo elemento impresor. El dibujo representa una rotativa de cuatro colores, por ambas caras del papel. A la salida de la bobina impresa, un dispositivo automático corta la

banda de papel en hojas y las pliega. Aquí abajo, vista en conjunto de una máquina rotativa de tamaño medio con alimentación por hojas; este tipo de máquina imprime una hoja en varios colores, según se puede observar en el segundo detalle de la página anterior. El primer detalle, en cambio, muestra uno de los rodillos mojadores que está siendo retirado de su alojamiento; se adivina el molde impresor formado por una plancha de aluminio; el rodillo mojado tiene la función de humedecer la parte gris que no será entintada. En la misma página, abajo, mecanismos de movimiento (engranajes) de la rotativa

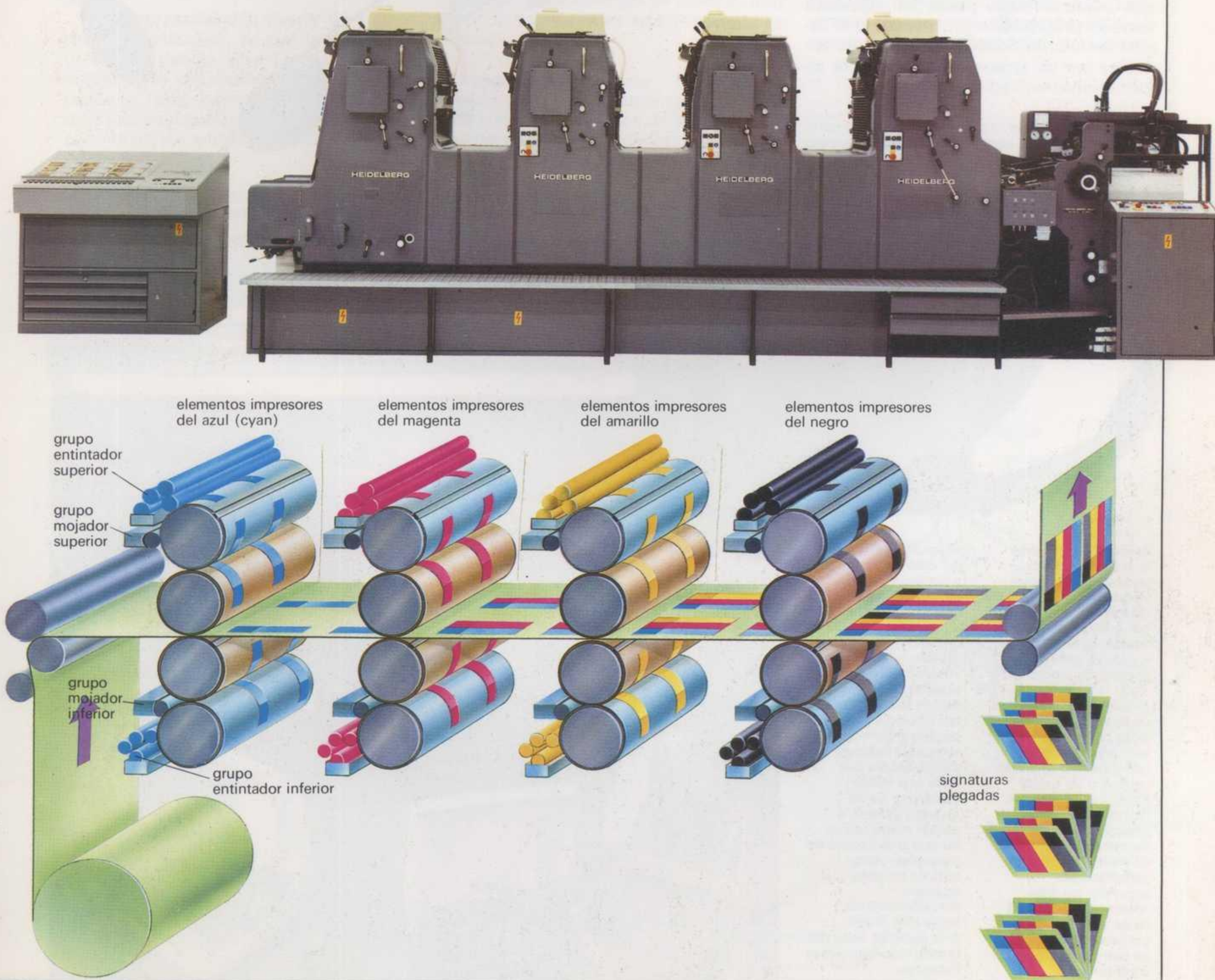
lindro de transferencia —llamado *cilindro portacauchos*—, que está recubierto por una tela adherida a una plancha de caucho. El cilindro portacauchos, que lleva ahora estampada e invertida la imagen, gira, engranado, sobre un cilindro de arrastre —llamado *cilindro de presión* o *cilindro impresor*— e imprime la imagen al derecho en el papel que se desliza entre ambos.

Si la máquina de impresión es para más de un color, el papel se desplaza, mediante un sistema adecuado, a lo largo de varios grupos concebidos de la misma forma. En el tipo de cuatro cilindros, falta el cilindro impresor y existe un armazón simétrico situado en la parte inferior que tiene la misión de imprimir el reverso del papel. Los cilindros portacauchos están, por lo tanto, en contacto; el cilindro portacauchos inferior tiene, generalmente, la misión de enganchar y arrastrar el papel. La alimentación de la máquina puede ser mediante hojas o mediante bobinas. En el tipo

de alimentación por hojas existe un depósito alimentador con un dispositivo llamado *marcador*, que tiene la misión de separar las hojas apiladas e insertarlas en la máquina de una en una. Un dispositivo parecido, a la salida, apila las hojas ya impresas. En el tipo de alimentación por bobina, existe, a la entrada de la máquina, un dispositivo debobinador con cambio automático de bobina; el papel impreso puede salir plano o ya plegado, según un esquema prefijado.

En función del tipo de producto que se desee obtener, es necesario utilizar un tipo determinado de rotativa en *offset*. Por ejemplo, para imprimir circulares se necesitan pequeñas máquinas de un solo color y con alimentación por hoja, que giran a gran velocidad; para la impresión de carteles publicitarios, anuncios, etc., se utilizan grandes máquinas con alimentación por hojas que imprimen, como mínimo, en cuatro colores.

Véase **Impresión; Rotativa**

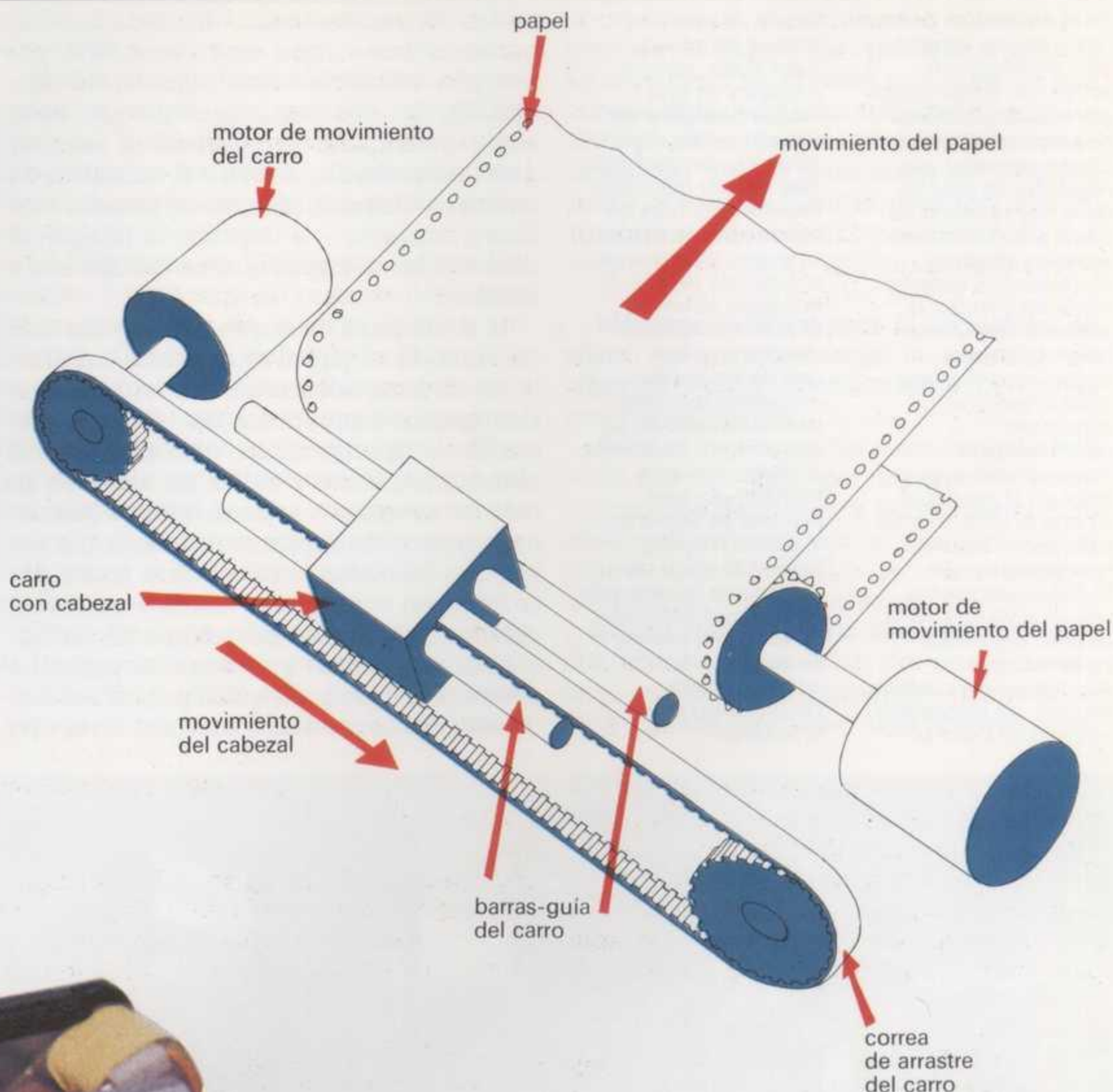


Impresora

El método normalizado de lectura de los datos de salida del ordenador sobre un terminal de vídeo no siempre es lo que se necesita, especialmente cuando se deben utilizar datos en común o para compararlos con otros, o cuando el usuario desea leer las informaciones lejos del terminal. En esos casos es necesario que los datos se presenten en forma impresa.

Código de imprenta Existen distintos métodos de transformar las informaciones que tiene el ordenador (que no son necesariamente susceptibles de ser impresas) en caracteres imprimibles. El código más común empleado para dicha transformación se denomina *ASCII*, que está muy generalizado en todo el mundo. Otros códigos empleados son el *EPSIDIC* (desarrollado para los ordenadores IBM) y el *BAU-DOT*.

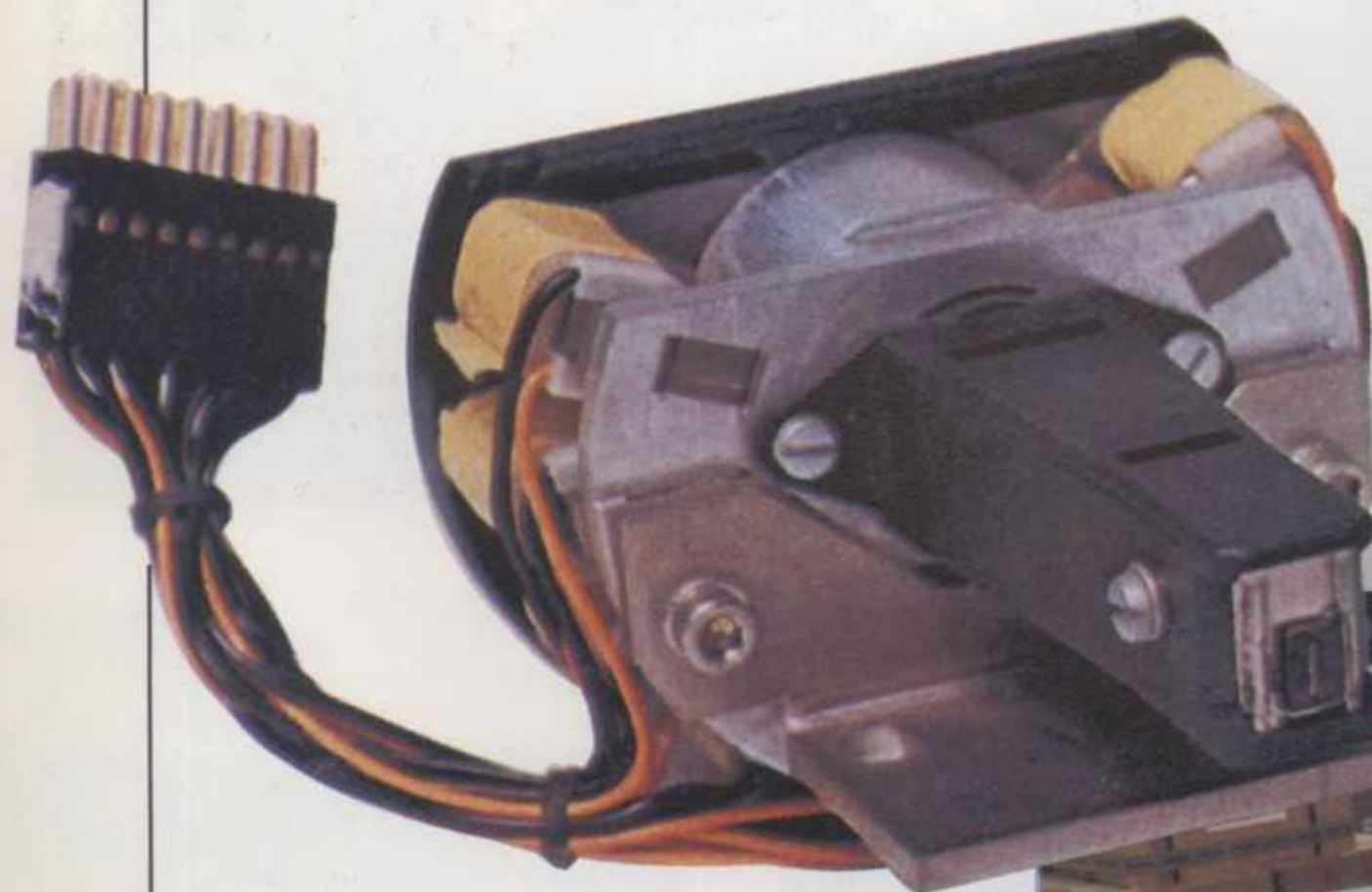
Durante el proceso de impresión, el ordenador envía un conjunto de informaciones a una máquina especial que lo tiene que imprimir sobre papel. La impresora tiene su propio microprocesador, que recibe las informaciones que le han sido enviadas por un ordenador y suministra informaciones en código *ASCII*.



Arriba, mecanismo por medio del cual el cabezal de una impresora por agujas se desplaza a lo largo de la línea de impresión y produce la escritura en la línea.

En la parte superior se puede ver el tambor sobre el que se apoya el papel continuo, con la típica perforación en sus bordes. Más abajo, a la izquierda, las dos barras cilíndricas

paralelas sobre las que corre el carro que lleva el cabezal de la impresora por agujas. Dicho cabezal se desplaza en ambos sentidos mediante la correa dentada.



Arriba, cabezal para la impresión de los caracteres mediante agujas o puntos. Cada carácter está formado por una matriz de 5×7 agujas, de 9×9 e incluso, en algunas impresoras modernas, de 11×11 agujas. El motor por pasos que se ve en el esquema de la parte superior de esta página sirve para provocar el avance del cabezal a un fuerte ritmo. Las impresoras profesionales de características más modernas permiten un avance de 80 caracteres por segundo; las más sofisticadas alcanzan hasta 250 cps. En cortísimos períodos de tiempo, hasta 2 centésimas de

segundo, las agujas del cabezal destinadas a componer el dibujo de un carácter se dilatan, luego se retraen y posteriormente se vuelven a dilatar para imprimir el siguiente carácter. El principio de funcionamiento está tan conseguido, que es posible imprimir a esta velocidad millones de caracteres sin que sufra una avería mecánica. Se ha llegado, incluso, a utilizar máquinas en las que una decena de cabezales —unos encima de otros— escriben simultáneamente sobre diez líneas. A la derecha, línea de montaje de impresoras de agujas.



Impresión por contacto Hay dos tipos principales de impresión: por contacto y sin contacto. La *impresora por contacto* tiene, simplificando mucho, un cabezal o elemento impresor que golpea o comprime el papel. La forma más común de la impresión por contacto es la impresora con *matriz de puntos*. El elemento impresor consiste en este caso en un retículo rectangular, o *matriz*, formado por agujas metálicas. Generalmente, los elementos de la matriz de puntos varían en líneas que miden desde 5 por 7 a 9 por 9 (existen algunos con densidades de hasta 11 por 11 o incluso más). Un elemento de 9 por 9 tendrá nueve líneas horizontales y nueve columnas verticales. Cada intersección forma un punto, y cada letra se imprime como un conjunto de puntos. La impresora activa una configuración diferente de puntos para cada letra distinta. Los elementos de mayor densidad son los preferidos, porque generan caracteres más compactos, lo que hace más fácil la lectura.

Las impresoras con matriz de puntos son muy versátiles, ya que la misma impresora se puede hacer funcionar a velocidades que van desde 60 caracteres por segundo (cps) hasta 180 cps. A 60 cps dará una configuración más definida, apta para un mayor número de usos que la ob-

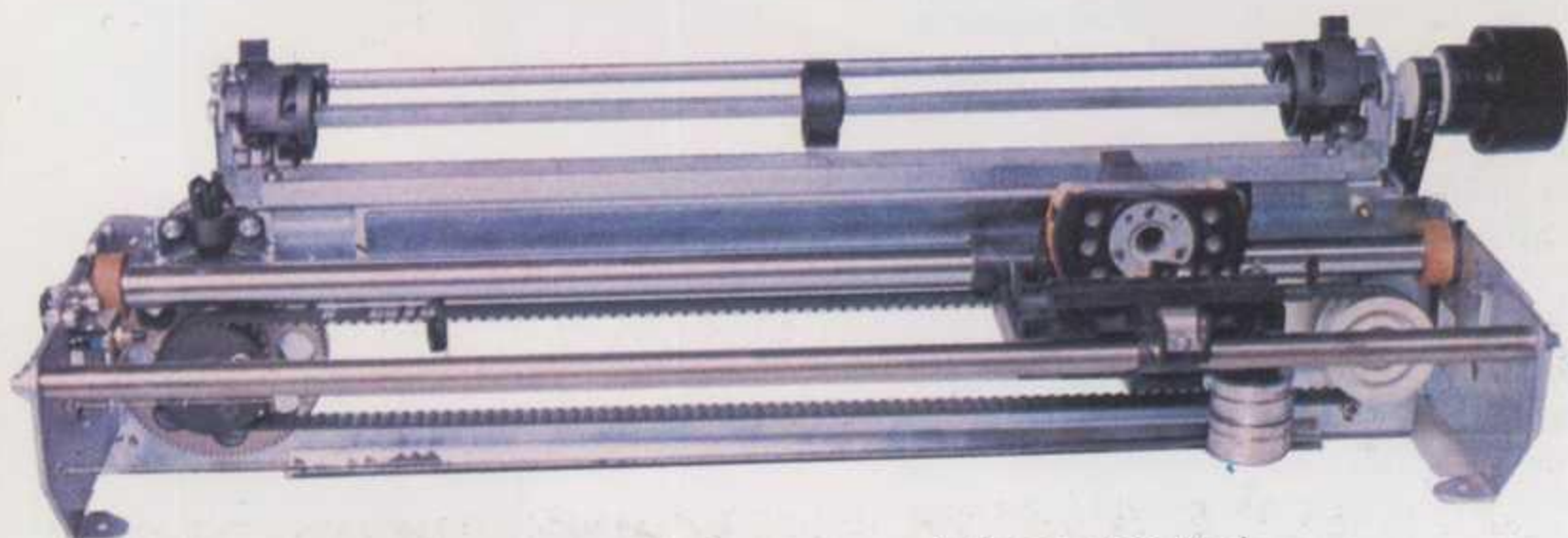
tenida con la velocidad de 180 cps. Pero en un laboratorio o en una fábrica, donde la velocidad pueda ser más importante que el aspecto, una velocidad mayor, como la de 180 cps, puede ser más útil. Las impresoras por matriz de puntos también se pueden usar para imprimir imágenes gráficas.

Otro tipo común de impresora por impacto es la de *disco de margarita*. Esta máquina tiene una rueda de impresión, es decir, una pieza en forma de disco que lleva las letras grabadas a lo largo de la circunferencia. Es más lenta que la impresora por matriz de puntos, pero produce una impresión de mayor calidad, como la de una buena máquina de escribir, de ahí que se utilice cuando es importante la presentación. Tanto el disco de margarita como las impresoras por matriz de puntos imprimen golpeando una cinta. Algunas unidades por matriz de puntos usan el calor o la electricidad para dejar su huella sobre un papel especialmente tratado. Sin embargo, como este tipo de papel es muy caro, dichos sistemas están cayendo en desuso.

Impresión sin contacto En la impresión sin contacto, el elemento impresor no toca nunca el papel. Una de las modalidades de este tipo se denomina *impresión*

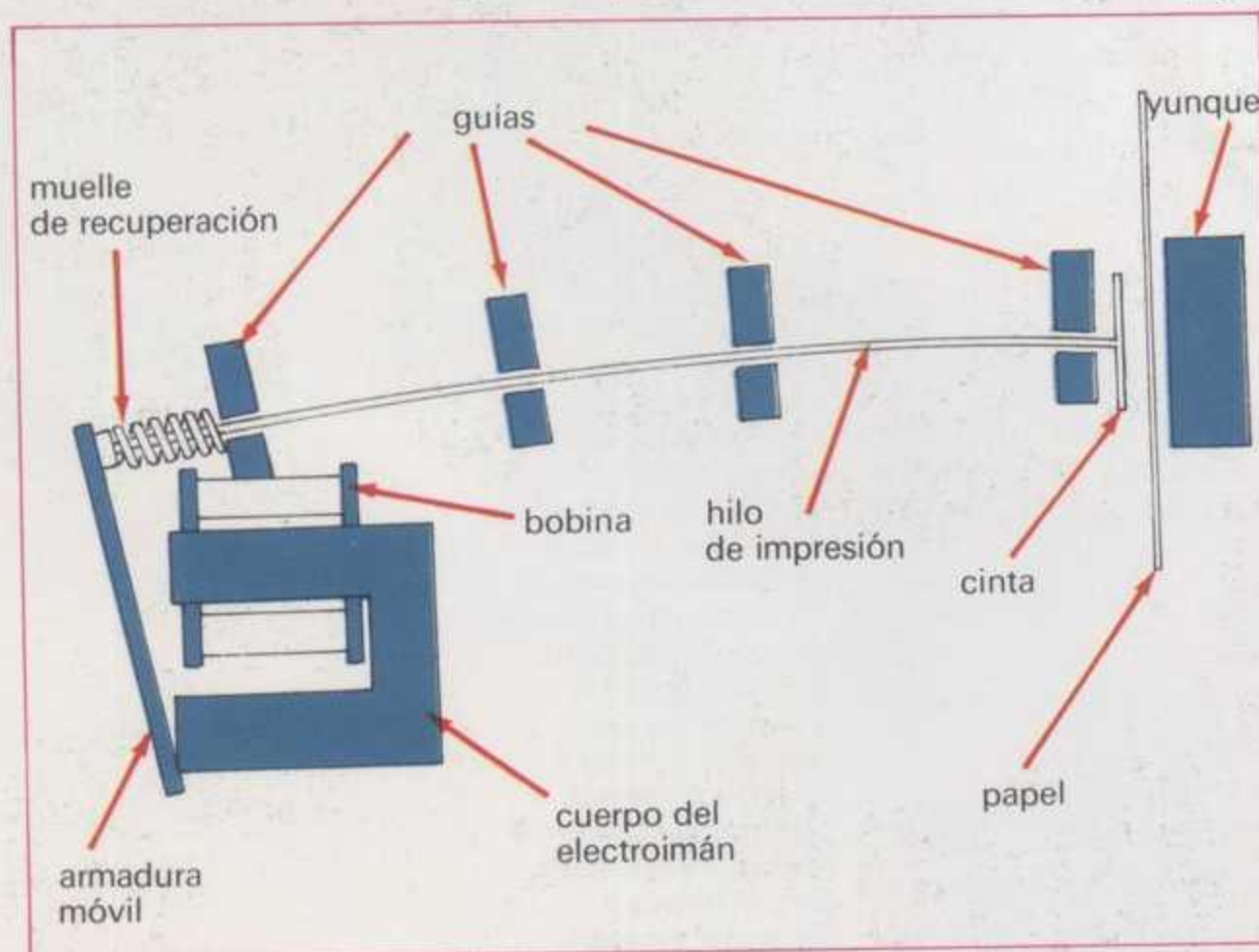
por chorro de tinta. Las impresoras por este sistema tienen unos pequeños aspersores que lanzan chorros de tinta en configuraciones adecuadas para formar las letras. Rápidas y silenciosas, se pueden utilizar para imprimir casi todas las formas o diseños gráficos. Como también son capaces de estampar varios colores, algunas máquinas por chorro de tinta pueden realizar gráficos muy detallados y realistas en cuatro colores. Las impresoras más rápidas disponibles, y las más caras, son las *impresoras por láser*, que funcionan de forma similar a como lo hacen las máquinas de reproducción. Un láser traza las imágenes de los caracteres a imprimir sobre un rodillo. El papel se mantiene en contacto directo con el rodillo, donde recoge la carga electrostática y el calor residual dejado por el láser, de forma que un fino polvo de imprenta es atraído y fundido sobre el papel donde el láser ha trazado los caracteres.

En general, la calidad de las impresoras está mejorando rápidamente, entre otras razones por su utilización como accesorios de los ordenadores personales.



Arriba, carro de una impresora con cabezal de agujas para velocidades desde 120 hasta 180 caracteres por segundo. Se trata de un mecanismo simple, refinado ya por una experiencia de

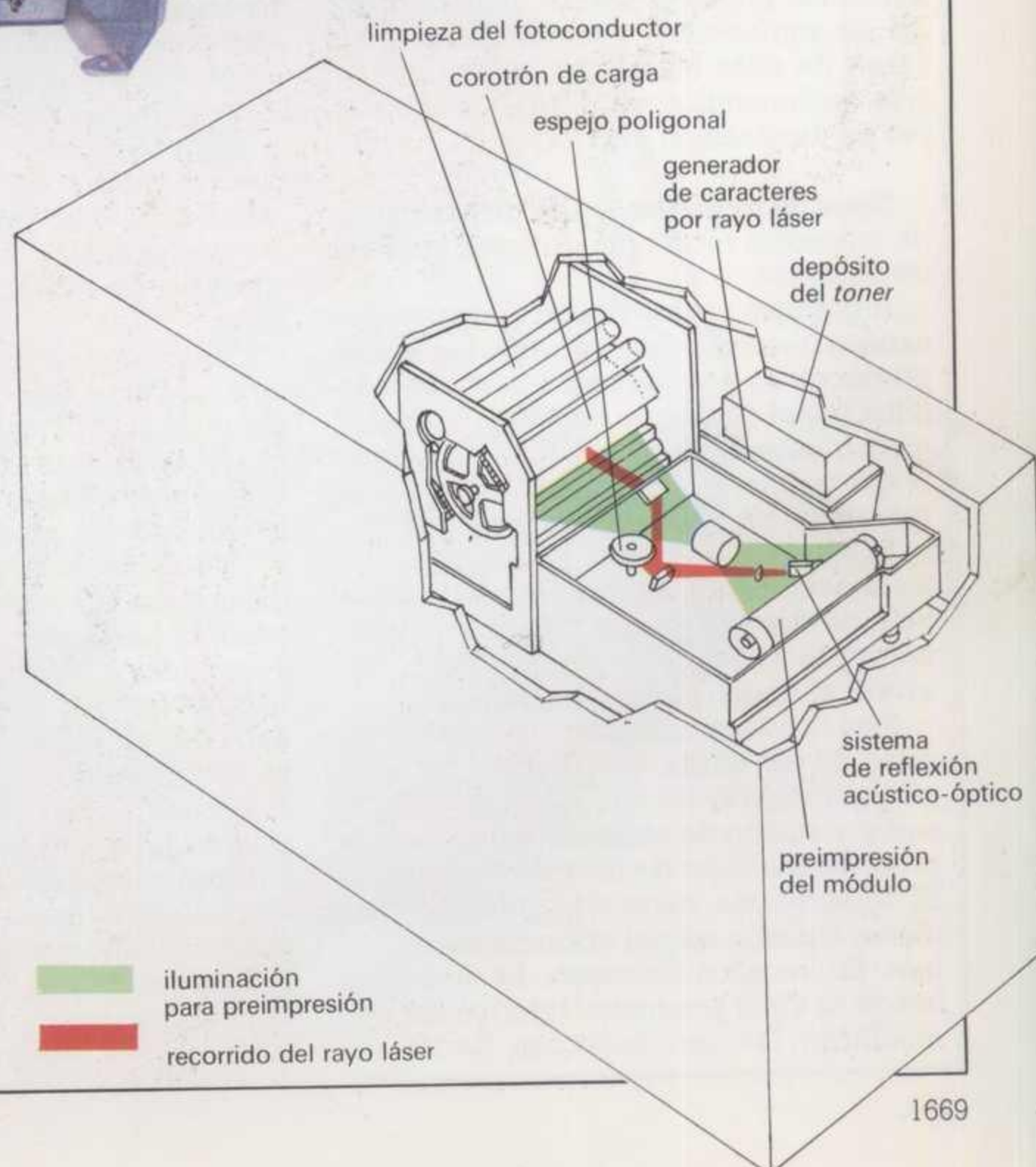
veinticinco años. En el esquema de abajo, funcionamiento de una aguja del cabezal. Un electroimán la impulsa a través de una serie de taladros hasta que golpea contra la cinta



Véase Ordenador, periféricos; Ordenador personal; Procesador de textos

→ mecanográfica. Aquí debajo, un tipo de impresora para altas velocidades. Mientras que las impresoras por agujas escriben como máximo 120 líneas por minuto, con la impresora láser, como

la que vemos, es posible llegar a veinte mil líneas por minuto. El haz láser dibuja los caracteres, que se ennegrecen mediante el mismo sistema de las copiadoras electrostáticas.



Incendios, lucha contra

Desde que se descubrió el fuego, el hombre vio la necesidad de poder dominarlo. Las fuerzas altamente organizadas destinadas a la extinción de los incendios se han hecho cada vez más importantes en la era moderna, con sus altos rascacielos, muebles de plástico y tejidos que se prenden y arden muy fácilmente, y que dan subproductos mucho más tóxicos que la madera o las fibras naturales.

Historia de la lucha contra los incendios Los primeros grupos antiincendio organizados en el mundo occidental fueron creados en el siglo I antes de Cristo por el emperador romano Augusto. Los *vigiles*, nombre del cuerpo destinado a ese fin, recorrían la ciudad en busca de incendios o de situaciones que fácilmente los pudieran provocar. Se sabe muy poco de la lucha antiincendios organizada existente después de la caída del Imperio Romano, pero lo más probable es que se convirtiera en una cuestión comunitaria puntual, hasta que el gran incendio de Londres en 1666 indujo a las compañías de seguros a la creación de un cuerpo de bomberos privado para salvaguardar la propiedad de sus clientes en dicha ciudad. En las zonas rurales, cuerpos de voluntarios combatían los incendios transportando agua con cubos desde la fuente más cercana, como un pozo, un manantial o un curso fluvial, mientras que en las zonas urbanas se empleaban bombas manuales. Hacia mediados del siglo pasado, se construyeron aparatos que funcionaban por medio de vapor. Estas autobombas ofrecían una gran ventaja respecto a los medios manuales, porque proyectaban un chorro de agua a presión y requerían un menor número de personas para hacerlas funcionar. En los primeros años del siglo XX las autobombas y los caballos que tiraban de ellas fueron sustituidos por carros antiincendios accionados por motores de combustión interna.

Tipos de incendios Los distintos tipos de incendios requieren diversos sistemas de extinción.

A grandes rasgos puede afirmarse que existen tres tipos de incendios: los que se producen en sólidos como la madera, tejidos, papel o plástico; los causados por líquidos inflamables, como aceite, gasolina o queroseno; y los que se originan en plantas de producción de electricidad.

El agua es el extintor más común para los incendios de sólidos, (llamados también de clase A), ya que puede enfriar eficazmente cualquier material que pueda avivar el fuego y así sofocarlo.

Para los incendios de líquidos, (o de clase B), se utiliza una espuma formada por una mezcla de agua, bicarbonato de sodio y sulfato de aluminio en polvo, que produce burbujas de dióxido de carbono. El dióxido de carbono, químicamente inerte, cubre y sofoca eficazmente las llamas. En los años cincuenta, se empezó a añadir al agua productos retardantes que modifican las características físicas del

agua misma, pero con los cuales el agua seguía poseyendo su efecto retardante mientras no se hubiera evaporado. Algunos de estos productos, llamados *bañantes*, reducen la tensión superficial de las gotas de agua mejorando sus características de penetración y de difusión. Otros productos, llamados *adensantes*, forman una especie de gel haciendo que el agua se vuelva viscosa y adhesiva a los productos combustibles y reduciendo la velocidad de dispersión y de evaporación. Los retardantes químicos absorben calor, evitando de este modo que el fuego se propague.

Medios para la lucha contra incendios La responsabilidad en la lucha contra incendios está asumida actualmente por las autoridades locales mediante la creación de cuerpos especiales de bomberos, agrupados en parques, provistos de vehículos y medios. En la mayoría de las áreas urbanas, la lucha contra los incendios comienza cuando una alarma transmitida eléctricamente llega a la central de la estación de bomberos, que inmediatamente avisa a la unidad antiincendios más cercana al lugar del suceso. Los vehículos utilizados normalmente son los *coches de bomba y escalera*, provistos de un potente motor y una bomba capaz de suministrar un caudal de agua de 4,5 m³ por minuto, procedente de tomas especiales del abastecimiento público. Llevan escaleras extensibles para alcanzar diversas alturas, herramientas para abrirse paso, equipos de rescate para bajar personas de los pisos, aparatos para respirar, etc. Este tipo de vehículo, ocupado por cinco bomberos, es la unidad básica de los modernos servicios de rescate y lucha contra incendios. El segundo grupo en importancia entre los vehículos contraincendios es el *coche-tanque*, que apoya el trabajo del vehículo de rescate y transporta unos 2.000 litros de agua junto con el equipo básico de lucha contra el fuego. Poseen además una bomba portátil para poder aprovechar cualquier fuente natural de agua (canales, estanques) inaccesible a la cisterna.

Otros vehículos son el *coche de escalera*, que lleva una gran cantidad de ellas; el *coche bomba-escalera*; el *coche de escalera aérea*, que transporta una escalera automática de base fija o sobre una plataforma giratoria; etcétera.

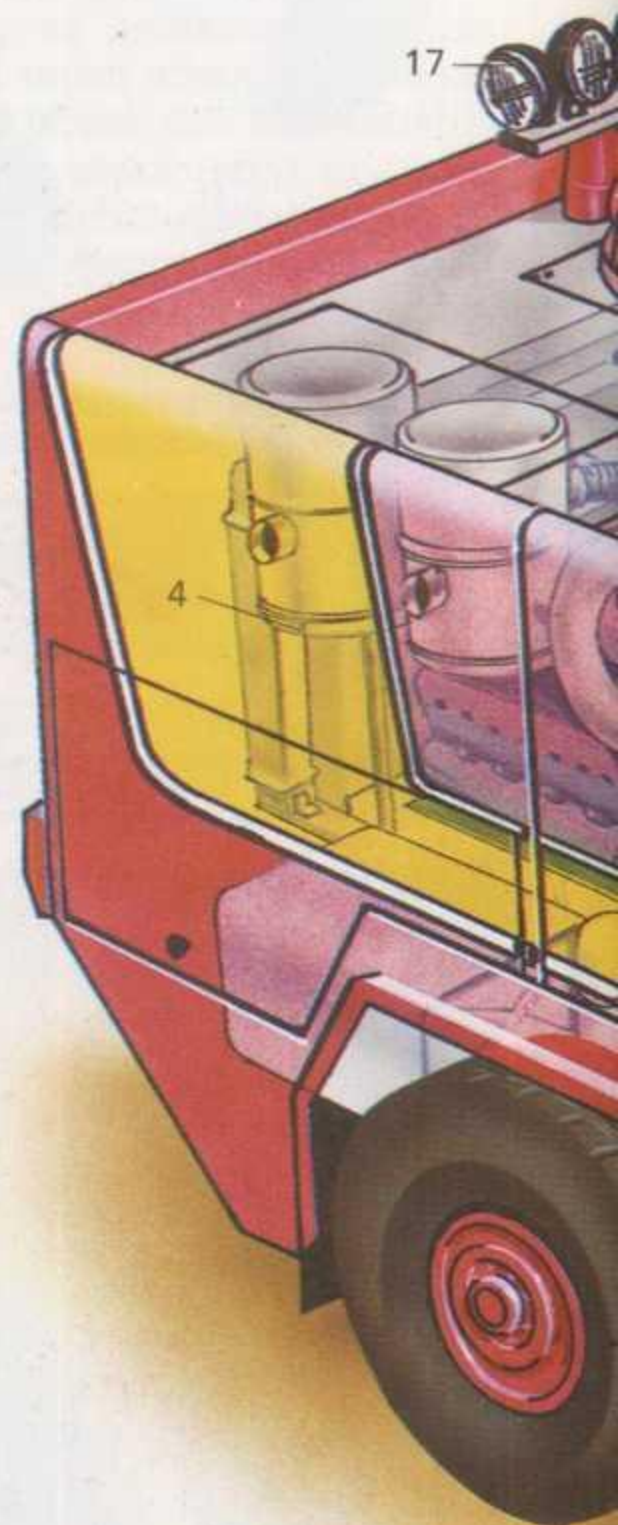
Todos los vehículos descritos se emplean para la lucha directa contra los incendios, pero además existen varios tipos de vehículos de apoyo que proporcionan a los bomberos otros medios necesarios para sofocar un gran incendio. Entre esos vehículos se encuentran los coches para el tendido de manguera y los furgones auxiliares, provistos de más equipos de respiración, herramientas especiales, ropas protectoras, aparatos de medida de radiación o de gas, etcétera.

Todas las tareas de salvamento y extinción del fuego en un incendio de grandes proporciones deben estar coordinadas y

centralizadas en un puesto central que permita la comunicación inmediata entre los distintos grupos de trabajo.

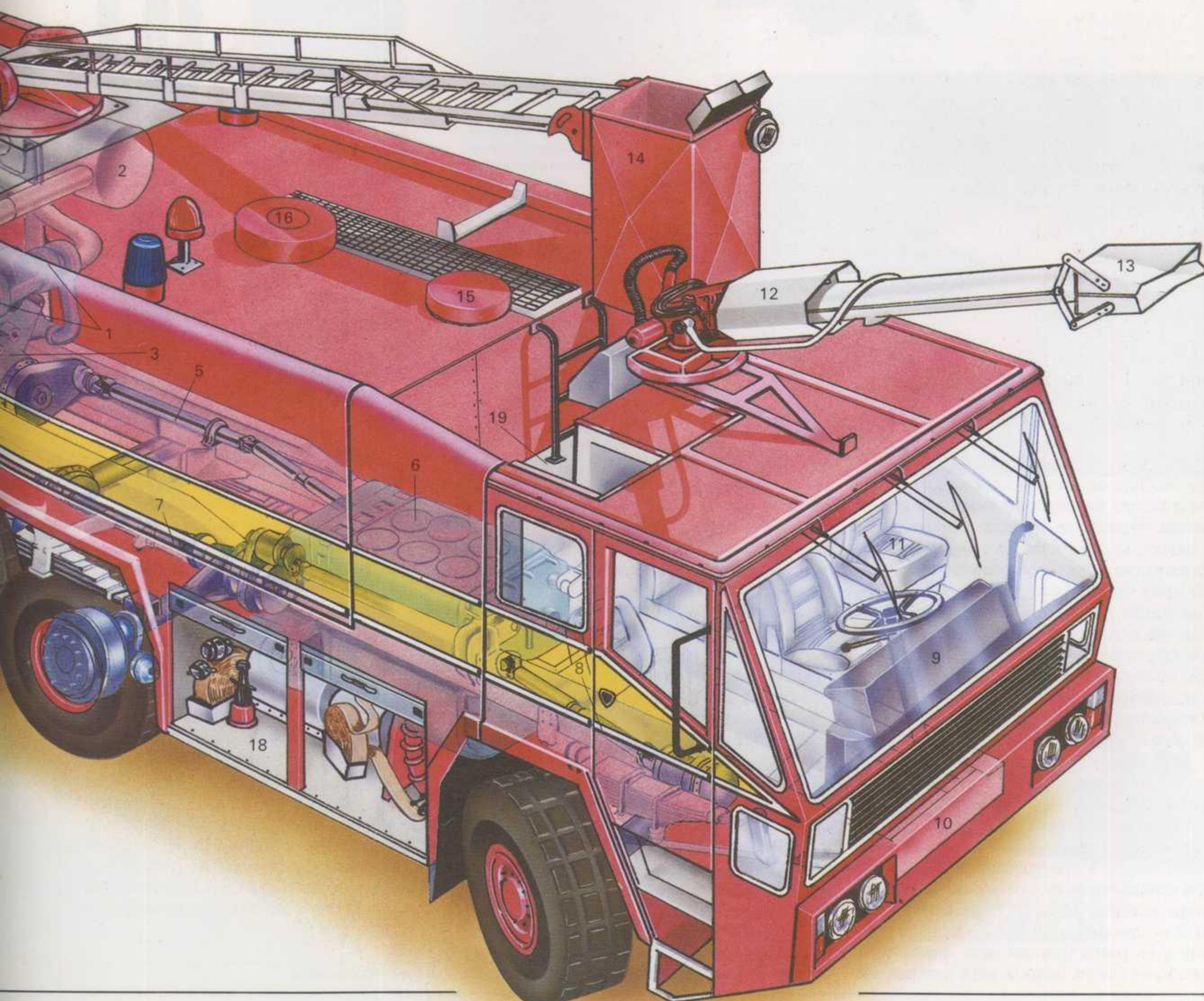
Aunque la mayor parte de las llamadas a los servicios contra incendios son recibidas por teléfono, hay actualmente un gran número de edificios industriales, comerciales y públicos protegidos por sistemas de detección automática de incendios, que localizan la fuente de fuego y transmiten la información a la estación de bomberos más próxima. Muchos de esos edificios disponen también de sistemas de extinción automática que pulverizan agua, un gas inerte o espuma directamente sobre el fuego.

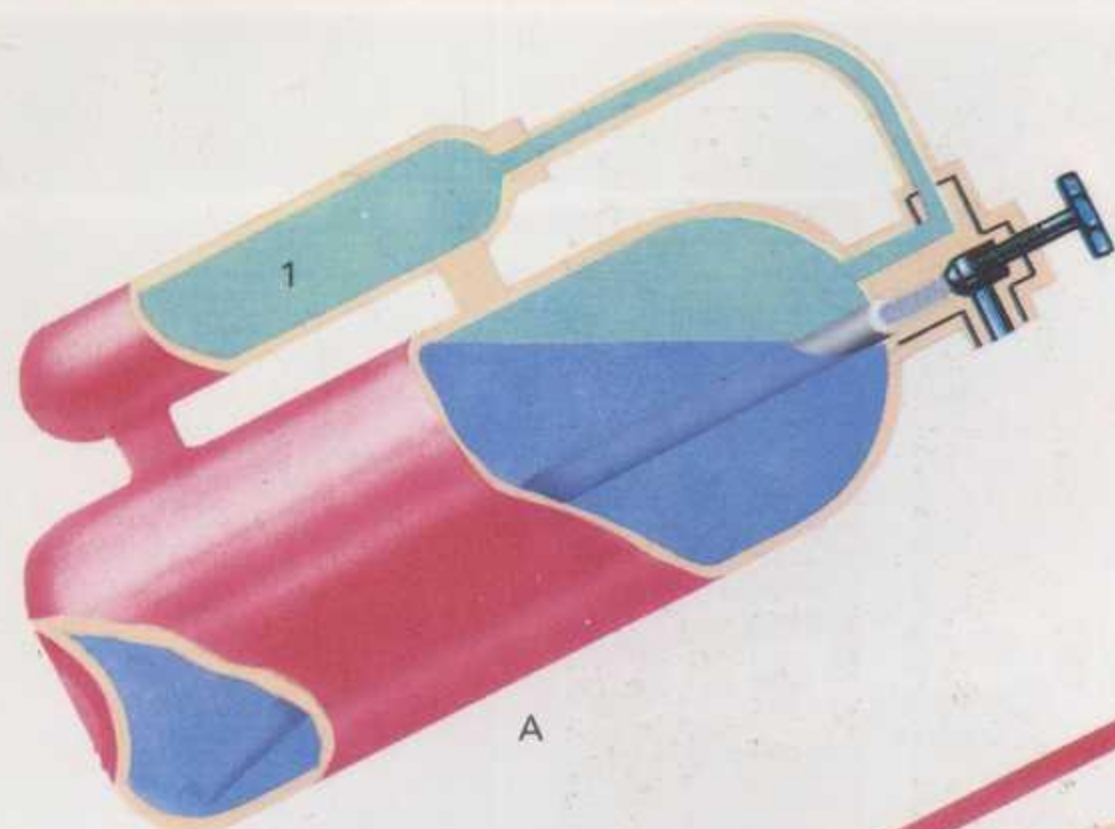
Otros medios utilizados en la extinción de incendios son las lanchas y los aviones ligeros, o avionetas. Los puertos suelen disponer de lanchas contra incendios, equipadas con bombas y todo el equipo del que disponen los vehículos de tierra.



La autobomba de los encargados de la vigilancia de incendios (en la foto de la página siguiente, una actuando en un bosque) es un vehículo provisto de dispositivos especiales. En él se han instalado: un depósito que contiene unos 2.000 litros de agua, una bomba situada en la parte posterior y unida a un tubo, escaleras extensibles, sirena de alarma, mando para dirigir chorros a distancia, etcétera.

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1 cargador | 12 dispositivo para el control de la espuma |
| 2 aspirador | 13 boca para la espuma |
| 3 motor Diesel | 14 plataforma para el control aéreo |
| 4 radiador | 15 apertura para el llenado del depósito de espuma |
| 5 árbol de transmisión principal | 16 apertura para el llenado del depósito de agua |
| 6 caja de cambios | 17 reflectores orientables |
| 7 árbol del semieje posterior | 18 mangueras |
| 8 árbol del semieje anterior | 19 plataforma de control |
| 9 columna de dirección | |
| 10 caja de dirección | |
| 11 asiento | |

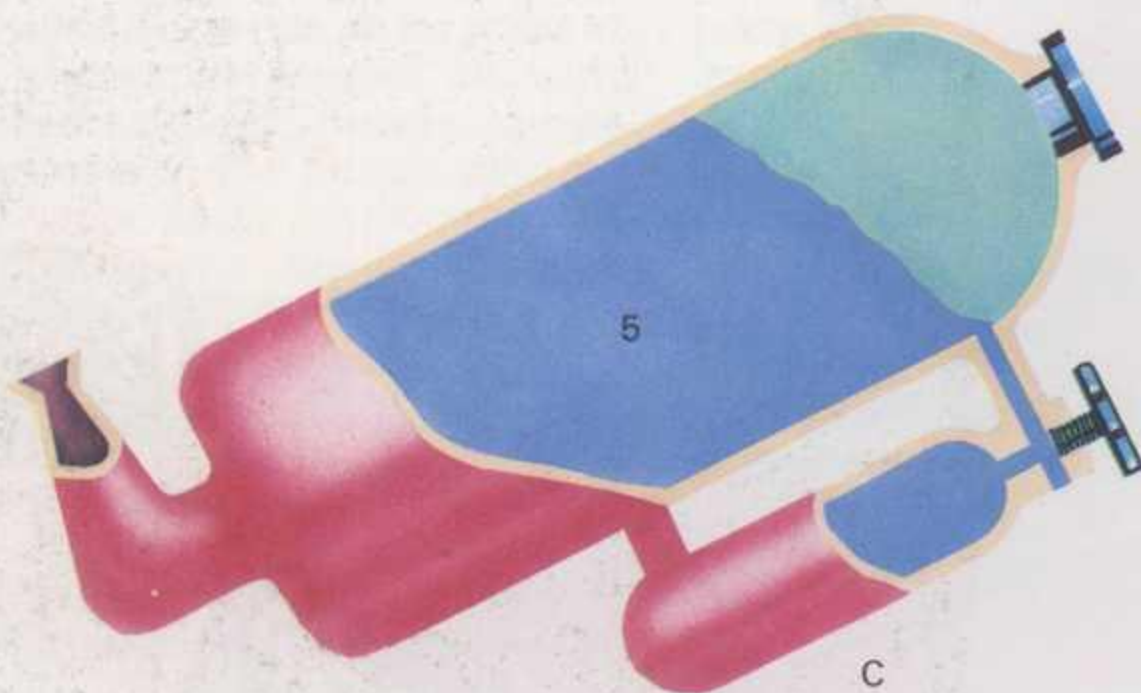




A



B



C

A) Extintor a base de un líquido orgánico: funciona con la presión producida por el dióxido de carbono licuado (1). B) Tipo híbrido: se rompe la ampolla de ácido sulfúrico (3), que reacciona con la solución de bicarbonato de sodio (2), empujando el

conjunto hacia el exterior (4). C) Tipo a base de bicarbonato sódico: en contacto con la llama, el bicarbonato (5) se descompone en sosa, vapor de agua y CO_2 . D) Extintor de dióxido de carbono: contiene CO_2 a alta presión (6), que es lanzado contra las llamas.



D

Esas lanchas acuden a sofocar los incendios a bordo de barcos fondeados en los puertos. Cuando el incendio se produce en barcos en alta mar, se utilizan versiones mayores y más potentes de esos mismos tipos de lanchas.

La lucha contra los incendios en las áreas de bosques o de pastizales constituye generalmente un problema complicado a causa de la lejanía de reservas de agua suficientemente grandes. La observación aérea para determinar la extensión y la dirección del incendio es fundamental. Los bomberos contienen las llamas que se propagan de forma alarmante por medio de barreras cortafuegos. Con este sistema es posible encerrar las llamas dentro de una superficie restringida hasta que se llegan a apagar totalmente. La barrera cortafuegos se realiza desbrozando —para eliminar toda la vegetación inflamable— una estrecha faja de terreno próxima a la parte que se está quemando. Cuando el fuego llega a esta barrera, no

puede seguir adelante y detiene su expansión. En ese momento los bomberos riegan con agua o cubren con tierra las llamas residuales, hasta sofocarlas. En estos casos la labor de los bomberos se ve apoyada por aviones ligeros que se utilizan para reconocimiento, transporte de personal o lanzamiento de agua sobre el fuego.

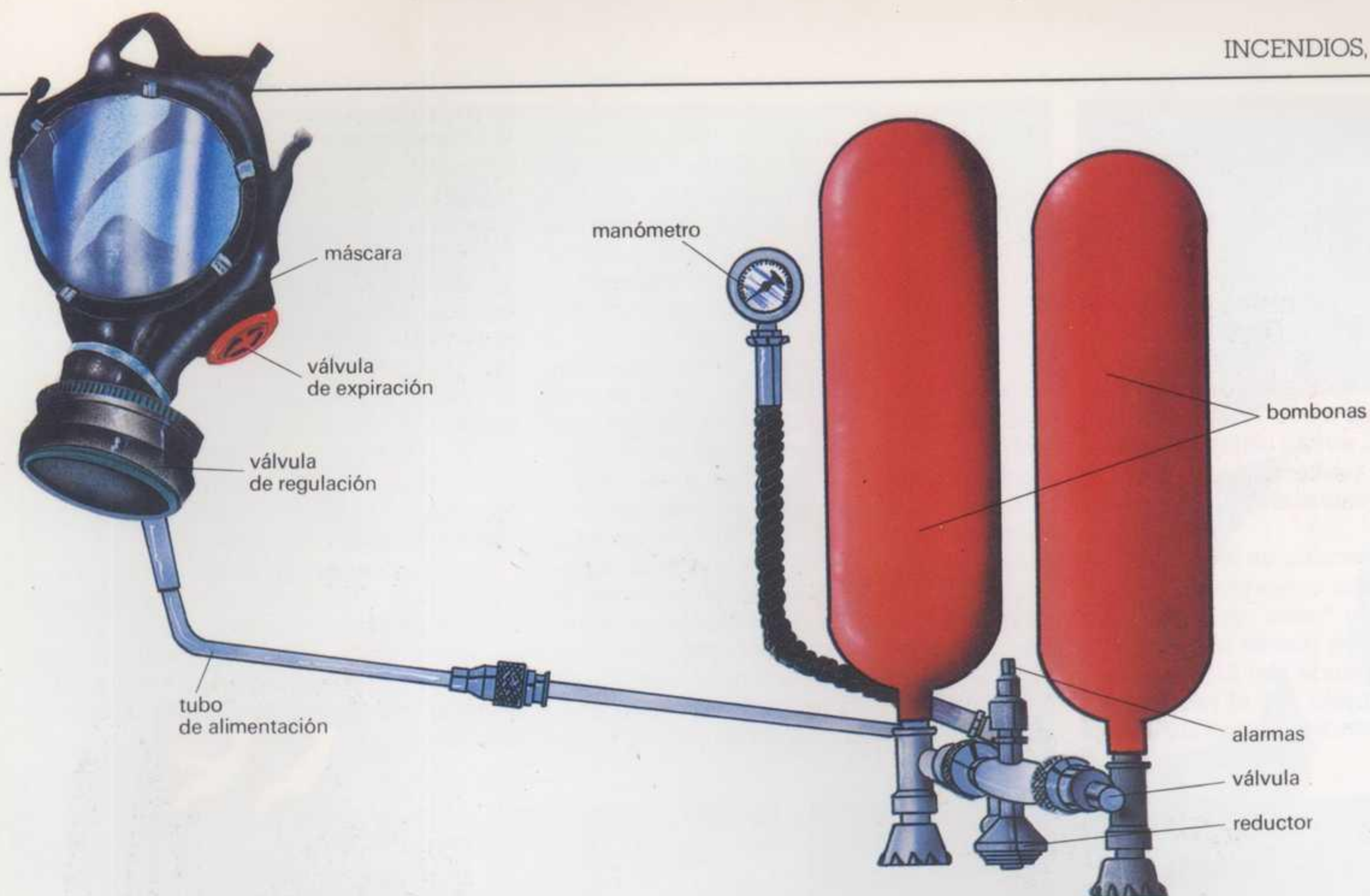
Indumentaria para la lucha contra los incendios Los bomberos necesitan llevar una ropa adecuada para estar protegidos contra las llamas, los gases venenosos y la exposición al calor. Los uniformes son incombustibles, y, gracias a recientes innovaciones, están confeccionados en tejidos ligeros. Las botas y cascos están reforzados con acero, como protección contra objetos puntiagudos y contra cascotes que se desprendan del edificio siniestrado.

La inhalación de humos y gases tóxicos es otro de los peligros existentes a la hora de extinguir un incendio: por eso los bom-

beros disponen de unas máscaras parecidas a las de los submarinistas, alimentadas con bombonas de aire a presión y que se sujetan a la espalda por medio de correas. En los últimos años se ha intentado hacer más ligeras estas indumentarias y dispositivos salvavidas, ya que cuanto menor sea el peso que debe transportar un bombero, más energía le queda para luchar contra el fuego.

Los sistemas de organización de la lucha contra incendios cuentan con un número cada vez mayor de bomberos dedicados a trabajos de investigación, además de a las tareas propiamente de lucha contra el fuego. Son frecuentes las conferencias y demostraciones prácticas que ponen énfasis en las medidas de seguridad, en la instalación de alarmas para el humo y en la preparación individual para saber qué hacer en caso de una emergencia.

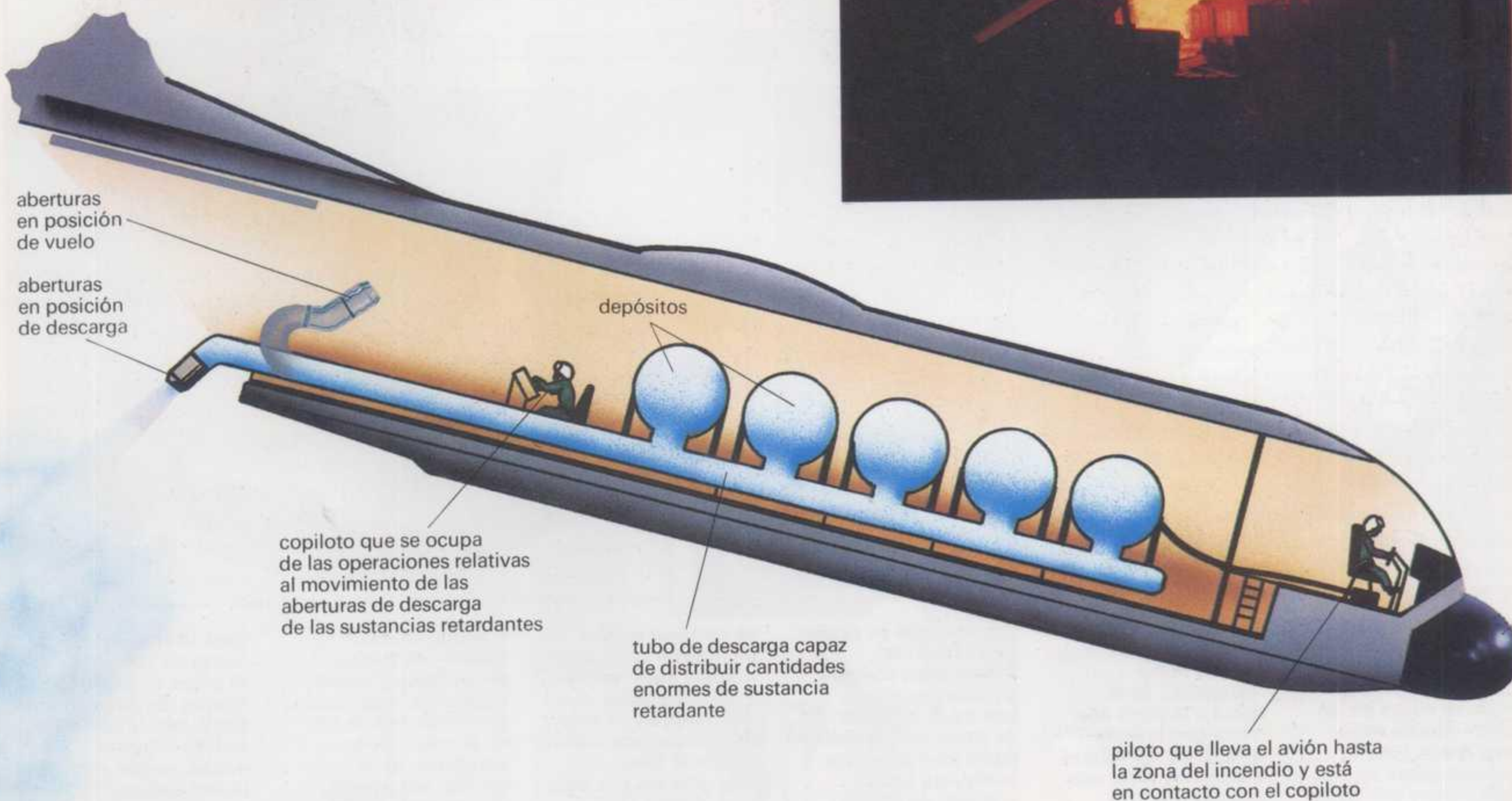
Véase **Combustión**



En el cuadro de la lucha contra los incendios, un grave problema es el de reducir el riesgo para las personas que trabajan en ello. Se han concentrado los esfuerzos en el perfeccionamiento de la indumentaria de

protección, de modo que garantice la seguridad y la salud de los trabajadores que componen los equipos de emergencia. Es bastante compleja la puesta en funcionamiento de medios para la protección de las vías

respiratorias. Arriba, autorrespirador para ser empleado en presencia de contaminantes. La máscara se debe colocar en un ambiente inocuo y no se debe quitar hasta salir de la zona contaminada.



Inercia

Cuando por primera vez los astronautas descendieron sobre la superficie de la Luna, cientos de millones de personas desde todos los rincones de la Tierra les vieron saltar como pelotas de goma en las proximidades del módulo de alunizaje, moviéndose —sin esfuerzo aparente— con largas zancadas, a pesar de sus nada ligeros trajes espaciales. Esos movimientos eran posibles porque sobre la superficie lunar el peso de los astronautas dista mucho de su peso en la Tierra: por esta razón los físicos evitan utilizar aquí la palabra "peso" y prefieren usar términos más abstractos, como *masa*, *inercia* y *fuerza*.

El físico, para describir un fenómeno, intenta siempre utilizar conceptos universales. El concepto de "peso" es a todas luces insatisfactorio, ya que se refiere a una magnitud que depende del lugar en que se encuentra el objeto: así, el peso de un astronauta no depende en absoluto de sus

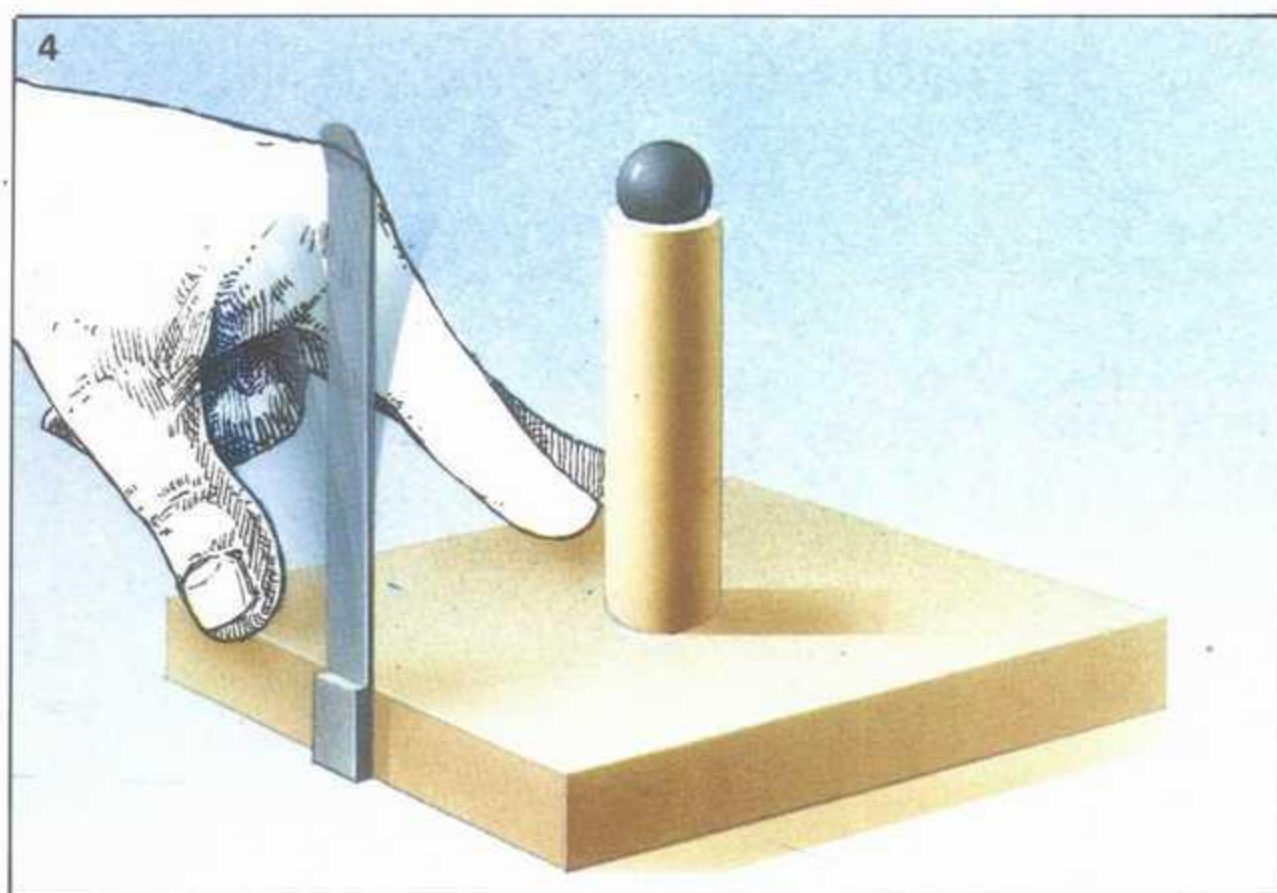
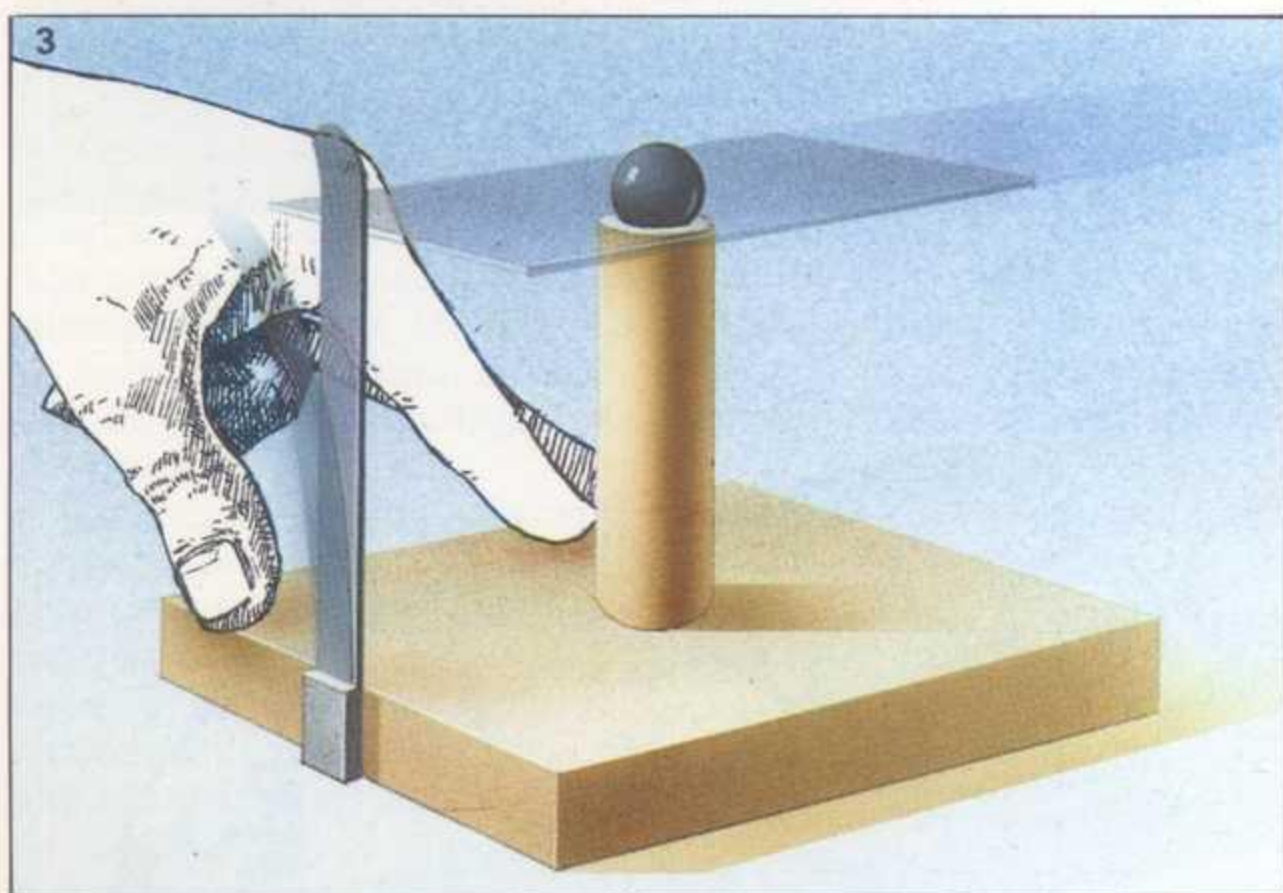
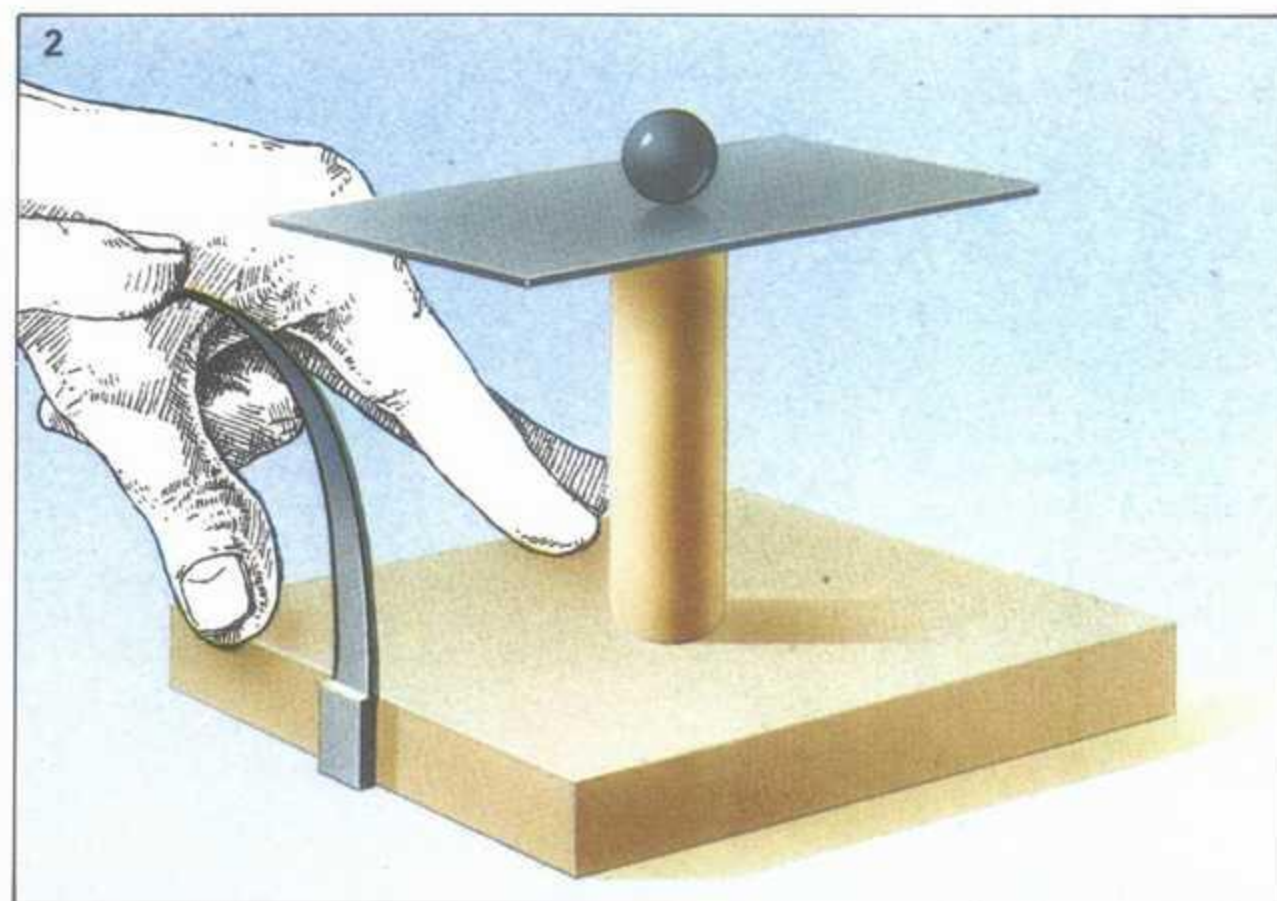
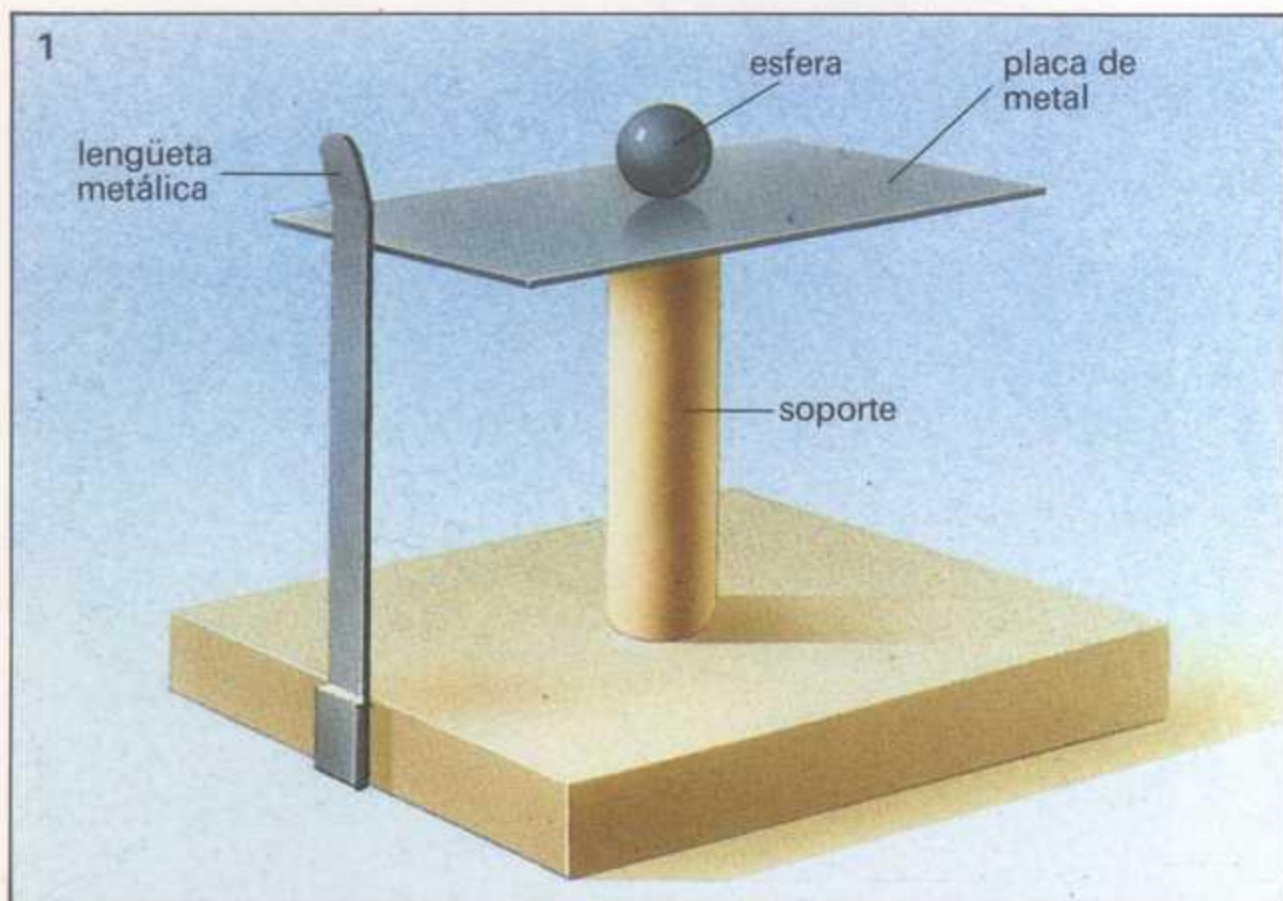
dimensiones, que son invariables, sino de la *atracción gravitacional* a la que se halla sometido en cada uno de los lugares en que se encuentra; su peso, por lo tanto, es distinto en la Tierra (donde la gravedad es seis veces mayor que en la superficie de nuestro satélite) que en la Luna o en el espacio, donde los campos gravitacionales son muy débiles.

Pero indudablemente debe existir un término para expresar la cantidad de materia que contiene un cuerpo, "algo" que indique sus dimensiones y la cantidad del mismo. Los físicos designan a ese "algo" con el nombre de *masa* y aclaran que, por ejemplo, el peso de un ser humano (o de cualquier otro objeto) se obtiene multiplicando su masa por la *aceleración de la gravedad* del punto en el cual se encuentra. La "masa" es un concepto más bien abstracto, ya que la aceleración de la gravedad, que en nuestro planeta es prácticamente constante en todas partes, pare-

ce identificar la masa con el peso; pero si se abandona la superficie terrestre, el concepto de "masa" se vuelve mucho más comprensible.

En una nave espacial que se encuentre viajando en los espacios interplanetarios, los efectos de la gravedad son tan pequeños que se puede afirmar que los astronautas que la tripulan carecen de peso. Si el astronauta empuja un lápiz que flota en el interior de la nave, éste irá inmediatamente a chocar contra una de las paredes. Por el contrario, si el empujón se lo da a una herramienta de gran masa, que también se encontrará flotando, ésta se desplazará mucho más lentamente.

Aunque en el interior de la cápsula el lápiz y la herramienta tienen un peso casi nulo, el de mayor masa de los dos resiste en mayor grado el empuje recibido. Esta resistencia recibe el nombre de *inercia* y la masa expresa la medida de la inercia de un cuerpo.



Uno de los experimentos clásicos que muestran el principio de inercia es el que se ilustra en los cuatro dibujos sobre estas líneas. Una pequeña esfera se coloca sobre una placa de metal que, a su vez, se apoya sobre un

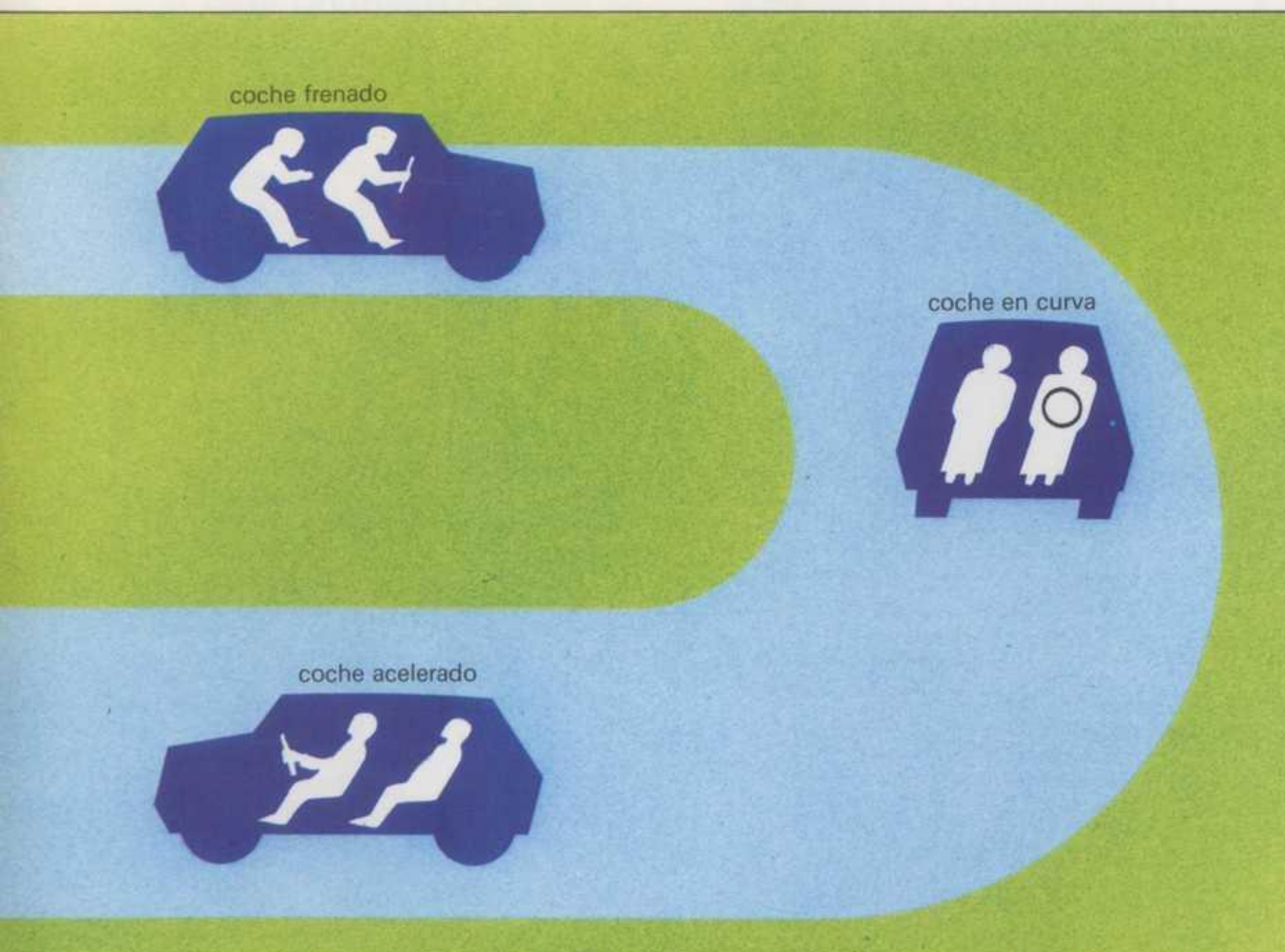
soporte (1); utilizando la lengüeta fijada al soporte como "catapulta", se le aplica a la placa una fuerza que la lanza lejos (2-3). La esfera, a la que no le ha sido aplicada ninguna fuerza, permanece sobre el soporte,

manteniendo su estado de reposo. Otro experimento consiste en extender sobre una mesa una hoja de papel, colocar sobre dicha hoja un objeto cualquiera (por ejemplo, un libro) y tirar bruscamente de la hoja: si se hace bien,

se verá que el libro permanece en su sitio sobre la mesa (en la página siguiente, abajo, a la derecha) en virtud del principio de inercia, ya que la fuerza ha sido aplicada a la hoja y no al libro. Otro experimento es el que se muestra

a la izquierda del anterior: se cuelga de un hilo un objeto cualquiera y otro trozo del mismo hilo se fija en la parte inferior del objeto. Si se tira del hilo lentamente (1), se parte el hilo superior, que debe soportar además del

peso del objeto, la fuerza de tracción. Si por el contrario tiramos del hilo con un golpe seco y fuerte (b), es éste el que se partirá, ya que el objeto suspendido se opone a toda modificación de su estado de reposo.



Quien viaja en automóvil experimenta a diario la existencia de una masa inercial (aunque no se dé cuenta). Durante una brusca desaceleración, los cuerpos del conductor y de los pasajeros parecen ser empujados hacia adelante; lo que ocurre en realidad es que el

coche se detiene bruscamente por acción de los frenos, mientras que los pasajeros y el conductor tienden a continuar moviéndose hacia adelante por inercia; lo mismo ocurre cuando el coche toma una curva: el cuerpo de los pasajeros tiende

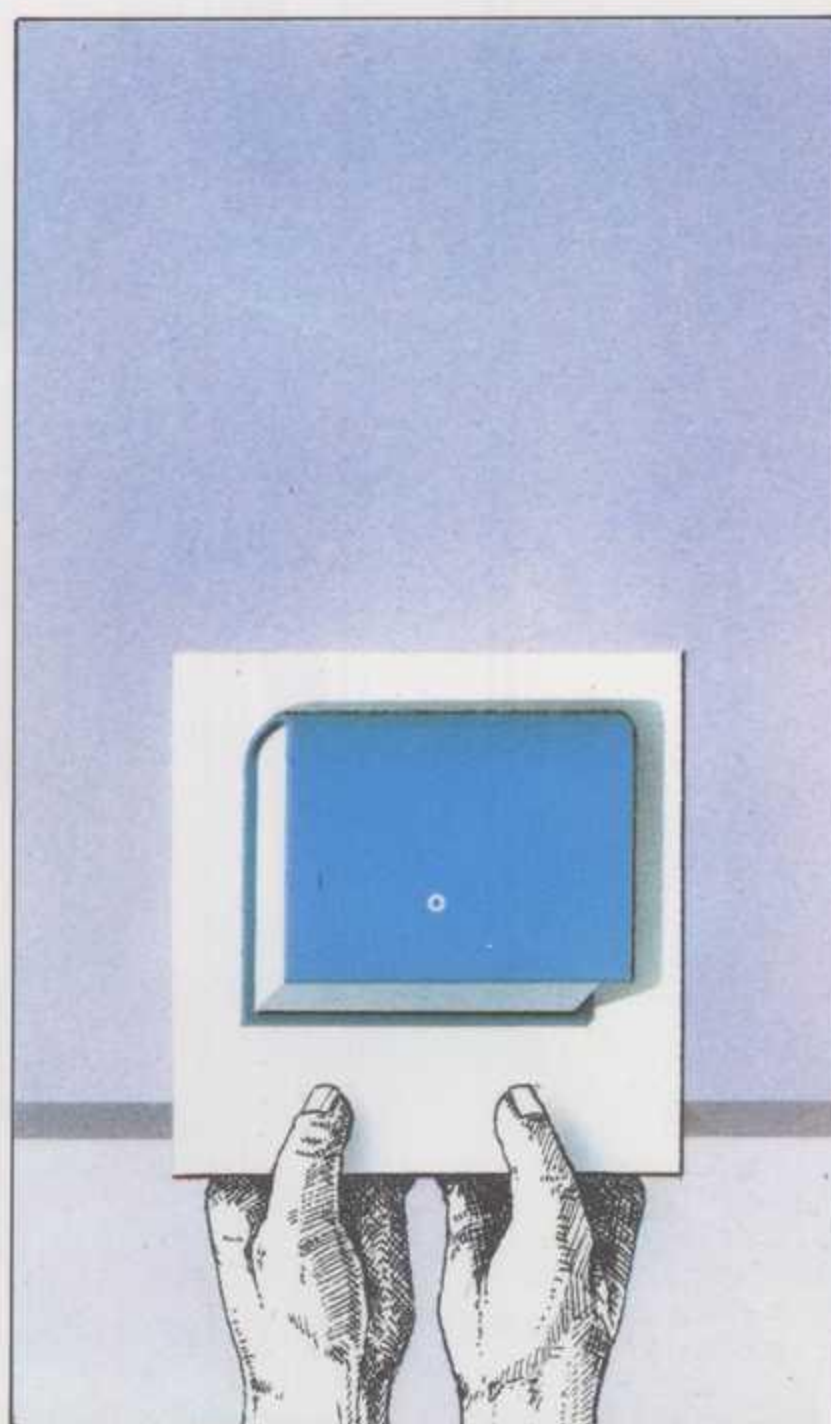
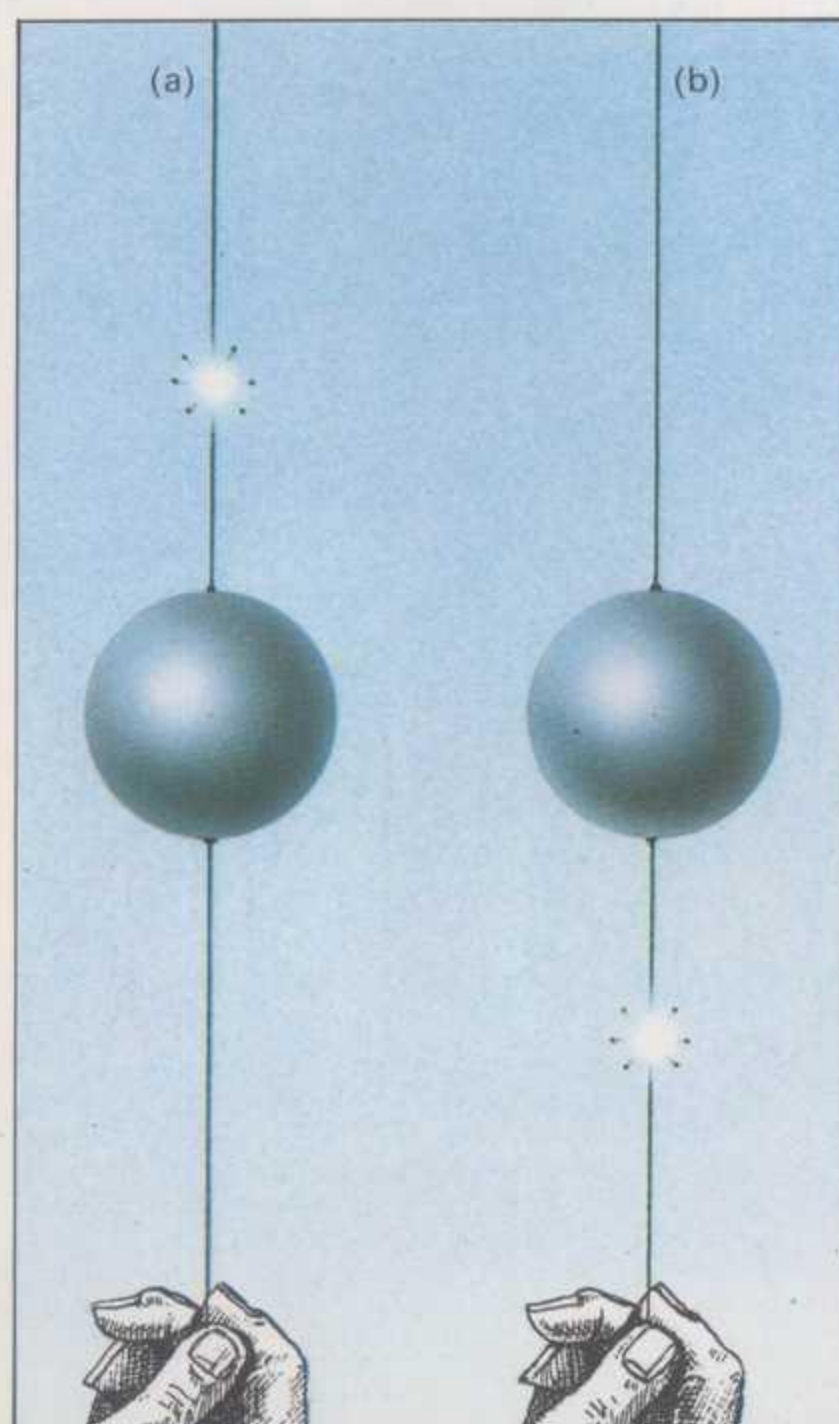
a seguir una línea recta, mientras que el coche toma la curva sin derrapar, debido a la adherencia de las ruedas sobre el asfalto. En el caso de una aceleración brusca, el coche arranca de golpe, mientras que la cabeza del conductor, que no se encuentra apoyada,

tiende a permanecer en reposo. Si un pasajero desciende de un tren o de cualquier otro vehículo en movimiento, mientras su cuerpo sigue por inercia con la velocidad del vehículo, sus pies son frenados por el rozamiento con el suelo, y puede perder el equilibrio.

Más formalmente, la inercia de un cuerpo es la *resistencia* que ofrece el citado cuerpo a cualquier variación en su estado de movimiento o de reposo. Cuanto mayor es la inercia del objeto, menor es la aceleración que adquiere al ser empujado o menor es la disminución de velocidad que experimenta como reacción a una fuerza que lo frena.

En definitiva, puede decirse que un objeto permanece en su estado de movimiento o reposo mientras no intervenga una causa externa (es decir, una *fuerza*) que lo obligue a modificar dicho estado. Esto es lo que los físicos definen con el título de *principio de inercia*, o *primera ley del movimiento*. Según este principio, podemos definir la inercia como la propiedad de la materia que le permite resistir a cualquier alteración de su velocidad.

Para verificar que todo cuerpo material (y por lo tanto nosotros mismos) posee una masa inercial, no es preciso viajar al espacio interplanetario: un simple automovilista puede comprobarlo. Por ejemplo, si el automovilista frena de improviso, el coche se detiene, pero el conductor y los pasajeros son empujados hacia adelante, ya que sus cuerpos tienden a mantener (por inercia) el movimiento; lo mismo ocurre si el coche arranca bruscamente, la cabeza es empujada hacia atrás (en realidad la cabeza tiende a quedarse donde estaba) mientras que el cuerpo, sostenido por el asiento, se mueve hacia adelante.

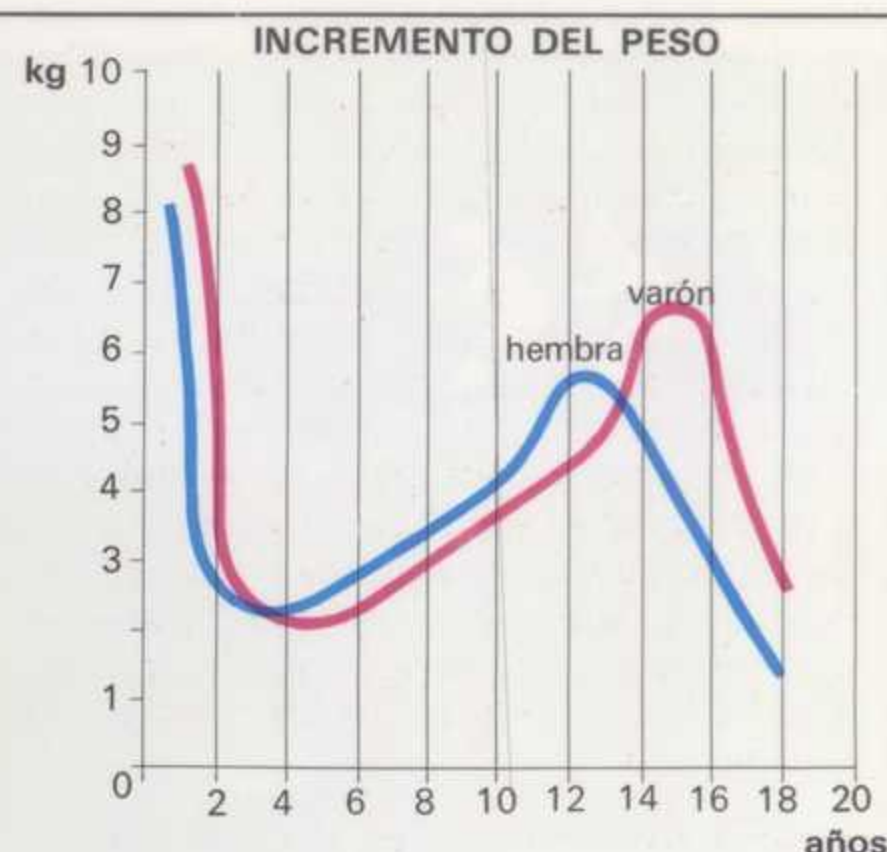
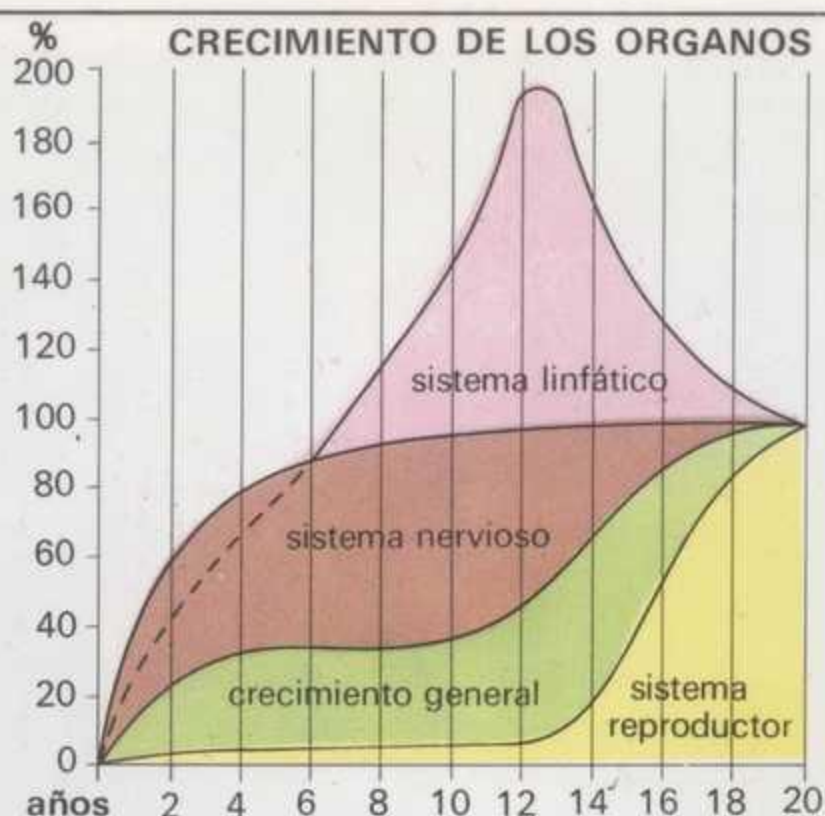


Véase **Gravedad y gravitación; Masa**

Infancia

La infancia es el período de la vida humana comprendido entre el momento del nacimiento y el comienzo de la juventud: no es fácil definirla exactamente, pero es posible describir con suficiente precisión el crecimiento y el comportamiento de un niño desde el mismo momento de su nacimiento.

A pesar de que el crecimiento y el desarrollo de cada organismo presentan siempre características propias e individuales, de manera que las diferencias entre un niño y otro pueden llegar a ser muy relevantes, la secuencia de los fenómenos es, sin embargo, muy similar para todas las personas.

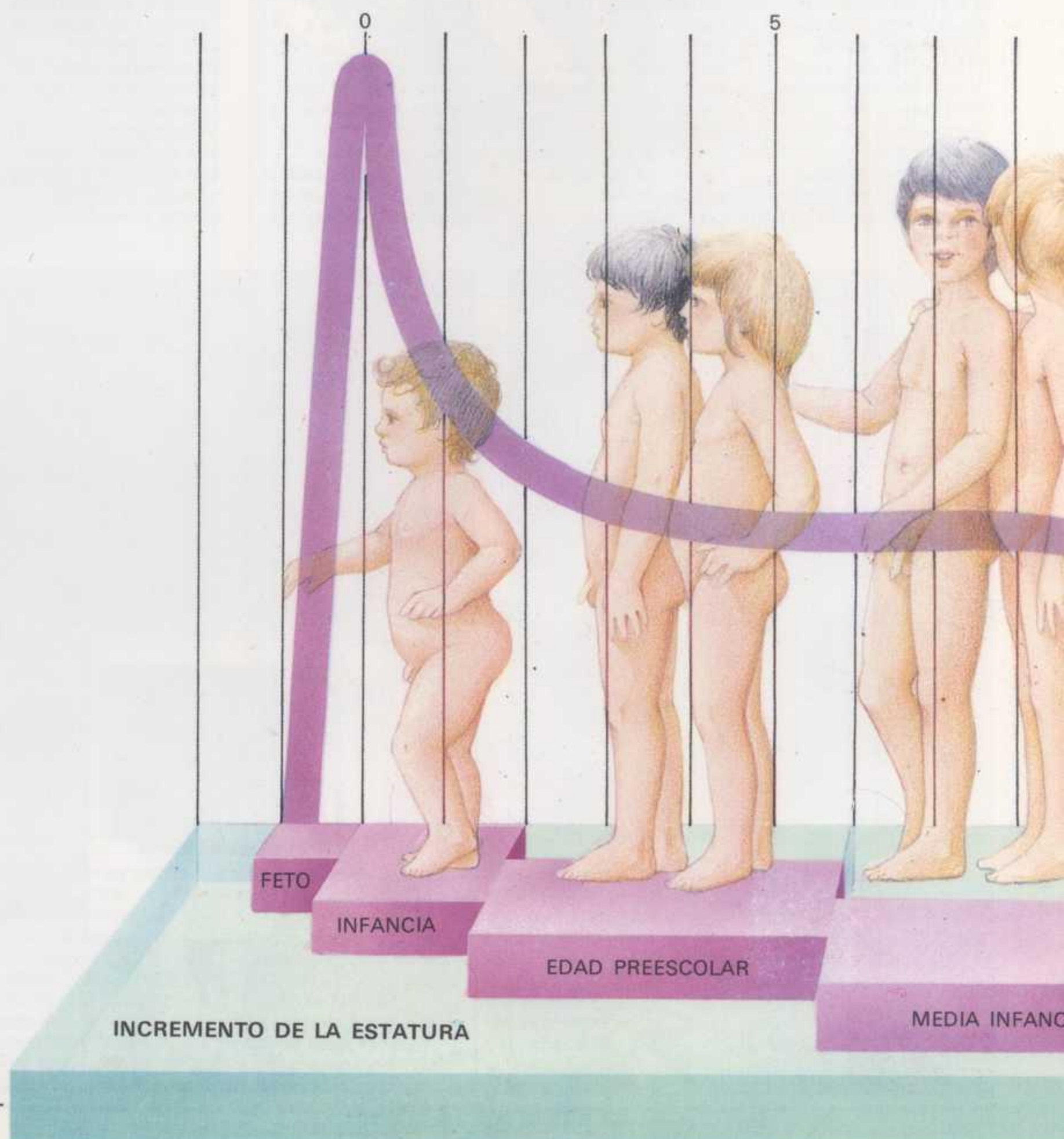


	peso (kg)	altura (cm)	calorías (Cal)	proteínas (g)	calcio (g)	hierro (mg)	vit. A (U.I.)	vit. B ₁ (mg)	vit. B ₂ (mg)	vit. PP (mg)	vit. C (mg)	vit. D (U.I.)
niños (ambos sexos)												
de 1 a 3 años	12	87	1.300	40	1	7	2.000	0,7	1	8	35	400
de 3 a 6 años	18	109	1.700	50	1	8	2.500	0,9	1,3	11	50	400
de 6 a 9 años	27	129	2.100	60	1	10	3.500	1,1	1,5	14	60	400
de 9 a 12 años	36	144	2.500	70	1,2	12	4.500	1,3	1,8	17	75	400
muchachos:												
de 12 a 15 años	49	163	3.100	85	1,4	15	5.000	1,6	2,1	21	90	400
de 15 a 19 años	63	175	3.600	100	1,4	15	5.000	1,8	2,5	25	100	400
muchachas:												
de 12 a 15 años	49	160	2.600	80	1,3	15	5.000	1,3	2	17	80	400
de 15 a 19 años	54	162	2.400	75	1,3	15	5.000	1,2	1,9	16	80	400

El recién nacido En el nacimiento, por lo general, los recién nacidos varones pesan un poco más que las hembras. El peso oscila habitualmente en torno a los 3,5 kilogramos y la longitud es de alrededor de 50 cm. La cabeza de un niño recién nacido parece desproporcionada con respecto al resto de su cuerpo. Efectivamente, constituye aproximadamente un cuarto de la longitud total, mientras que en el adulto esta proporción es sólo de la décima parte. Los tiernos huesos de un niño se transforman poco a poco en los duros huesos mineralizados de un adulto. En las encías, incluso antes del nacimiento, existen ya minúsculos dientes, aunque el primero de ellos emerge comúnmente poco antes del séptimo mes. Al año de vida ya han hecho erupción por lo general seis dientes.

Cuando un niño nace, es ya capaz de realizar muchas funciones, como respirar, ver, oír, oler, llorar, moverse, elevarse, apretar, mamar, tocar, experimentar dolor y placer y mover su propio cuerpo. Algunas de estas funciones estaban ya presentes incluso antes del nacimiento; otras se van desarrollando poco a poco.

La infancia En los primeros 5 a 7 días de la vida, el recién nacido se enfrenta al brusco cambio de ambiente y debe soportar la diferencia que existe entre el mundo seguro que ha conocido en el seno materno y el mundo exterior. En las 8 semanas que siguen al nacimiento presta gran atención a todo lo que le circunda y percibe poco a poco los sonidos; comienza a sonreír a las personas y desarrolla la visión en tres dimensiones después de 8



a 10 semanas de vida. A los tres meses, presta mayor atención a los hechos que suceden a su alrededor y a las personas que se le acercan. A los 7 meses una emoción (por ejemplo, la visita de un desconocido) puede ser motivo de llanto o de otros signos de miedo. Entre los 12 y los 18 meses el niño ya es capaz de moverse y dar los primeros pasos.

A los 6 meses ve como un adulto y al final del primer año se deduce de su comportamiento que ya ha comenzado a pensar y a clasificar. Su atención se ve atraída por fenómenos insólitos y parece que comienza a comprender las razones de lo que sucede.

edad (en años)	altura (en cm)		peso (en kg)		perímetro craneal (en cm)		perímetro torácico (en cm)		perímetro abdominal (en cm)	
	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
3	95,5-100	94,2- 99	14,4-15,7	14,0-15,2	49,8	48,9	52,0	50,0	48,5	46,6
4	102,5-107,3	101,7-105,0	16,7-18,0	16,6-17,3	51,1	49,8	54,5	52,9	50,0	48,2
5	108,7-112,3	108,2-111,8	18,8-19,7	18,0-19,7	51,6	50,4	56,2	54,1	52,0	50,1
6	114,6-118,1	113,1-116,8	20,5-21,6	19,8-21,2	52,1	51,2	57,8	56,3	53,1	51,5
7	119,8-123,3	118,6-122,3	22,3-24,0	21,9-23,6	52,5	51,6	59,8	58,1	54,3	52,4
8	125,1-128,6	124,1-127,8	25,0-26,9	24,5-26,4	52,7	52,0	61,5	60,1	55,7	53,2
9	130,4-133,9	129,6-133,3	28,0-30,1	27,4-29,7	53,2	52,2	62,9	61,9	57,0	54,1
10	135,6-139,2	135,1-138,8	31,1-33,1	30,9-33,1	53,4	52,8	64,8	64,1	58,2	55,8
11	140,4-143,2	141,2-143,7	33,8-35,6	34,0-36,5	53,5	53,0	64,5	66,0	59,4	56,9
12	145,6-149,8	146,5-151,7	38,1-41,6	39,0-44,5	53,5	53,0	66,5	71,0	60,9	59,0
13	152,5-156,6	153,1-155,3	45,4-48,1	47,0-49,5	54,0	53,5	70,0	76,0	62,4	60,8
14	159,6-163,7	156,0-157,3	50,9-55,5	50,7-52,6	54,0	54,0	72,0	80,0	64,7	62,2
15	164,5-166,0	157,4-158,5	56,7-58,5	53,5-54,1	54,5	55,0	78,0	81,0	67,0	63,0
16	168,0-171,0	159,0-159,5	60,0-61,5	54,7-55,5	55,1	55,0	81,0	82,0	69,0	67,7
17	171,0-172,0	159,5-160,0	62,0-63,3	55,8-56,6	56,0	55,0	83,0	82,5	70,7	64,0
18	172,0-173,3	160,0-161,5	64,0-65,5	57,0-57,8	56,0	55,0	84,5	82,5	71,6	64,8

El control periódico de la estatura y del peso de un ser en crecimiento proporciona elementos necesarios para verificar la normalidad de los procesos biológicos. Abajo, gráfico del crecimiento. Se inicia éste desde la concepción y continúa hasta los veinte años después del nacimiento. El incremento máximo del crecimiento en altura, analizado año

por año, tiene lugar durante el período prenatal, en el curso de los dos primeros años de vida y durante la adolescencia, de

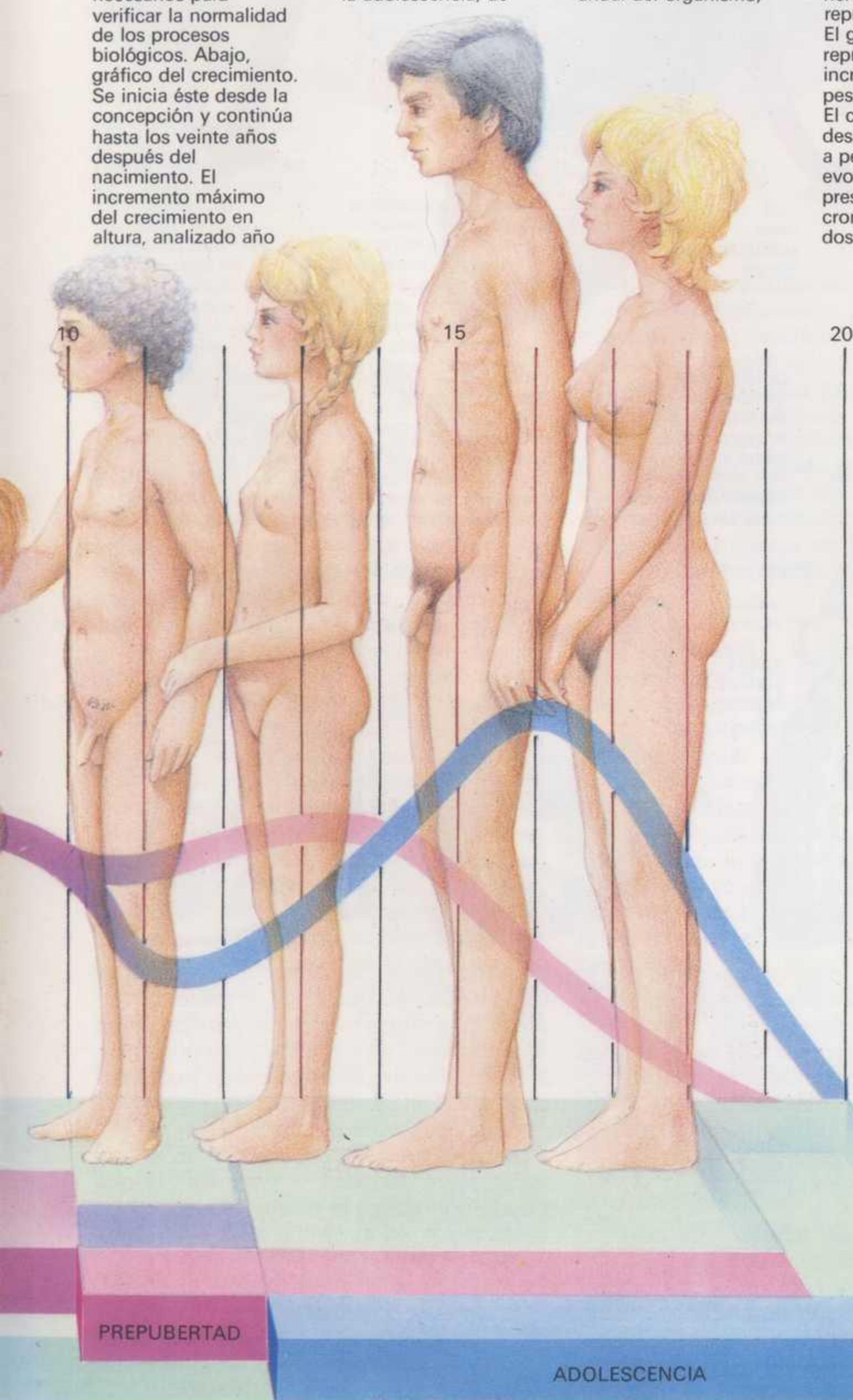
manera más evidente en los varones. En la página anterior, arriba, a la izquierda: crecimiento anual del organismo,

tras el nacimiento, y evolución de algunos sistemas que lo constituyen (los sistemas linfático, nervioso y reproductor). El gráfico de la derecha representa el incremento anual de peso en los dos sexos. El crecimiento y el desarrollo corporales, a pesar de que llevan evoluciones similares, presentan diferencias cronológicas en los dos sexos.

Un niño normal de 3 meses es capaz de estar sentado apoyado durante un poco de tiempo; a los 8 meses ya logra hacerlo sin apoyo. La mayor parte de los niños puede arrastrarse a las 40 semanas, andar a gatas a las 50, y permanecer en pie y caminar a las 64 semanas. Durante las 6 primeras semanas, si es estimulado, puede emitir algunos balbuceos —en el nacimiento sólo es capaz de dar gritos—, mientras que a las 8 semanas ya comienza a farfullar algunas cosas. A los dos meses, los sonidos emitidos por un niño sordo son idénticos a los de un niño sano: después de otros dos meses, las condiciones externas han producido ya su efecto sobre los sonidos emitidos por un niño con un oído normal. Por efecto del aprendizaje, pronuncia su primera palabra aproximadamente al año de edad, y su primera frase, entre los 18 y los 27 meses.

Desarrollo intelectual del niño El desarrollo intelectual del niño se basa en el uso de imágenes, de símbolos y de conceptos. A la edad de 2 años conocerá solamente el dibujo de, por ejemplo, una estrella, es decir, una imagen; a los 4 años la reconocerá y la simbolizará como "una estrella"; a los 10 años ya será capaz de pensar en una estrella como una parte del sistema solar, un concepto abstracto. Aprendiendo a hablar, con los intercambios de información aumentará también el caudal de sus conocimientos. A los 12 meses el niño comprende tres palabras; a los 15 meses, diecinueve; a los 21 meses, ciento dieciocho. A los dos años, el niño ya conoce aproximadamente 270 palabras.

Todas estas capacidades ayudan al niño en sus intentos de realizar sus deseos, a disminuir su inseguridad, a manifestar la cólera o el placer, el amor o el odio, a desarrollar el sentido de los valores (de lo "bueno" y lo "malo"), a sentirse incluso culpable y, desgraciadamente, a tener miedo.



Véase Adolescencia; Hombre; Madurez; Senectud

Infarto

Las enfermedades del corazón han sido desde siempre una amenaza persistente para la vida del hombre. Las más antiguas momias egipcias, por ejemplo, muestran vestigios de enfermedades cardíacas. En los Estados Unidos, las enfermedades del corazón son responsables de la muerte de más de medio millón de personas al año. La causa de muchos de estos fallecimientos es, en gran parte —y a veces erróneamente—, atribuida al infarto.

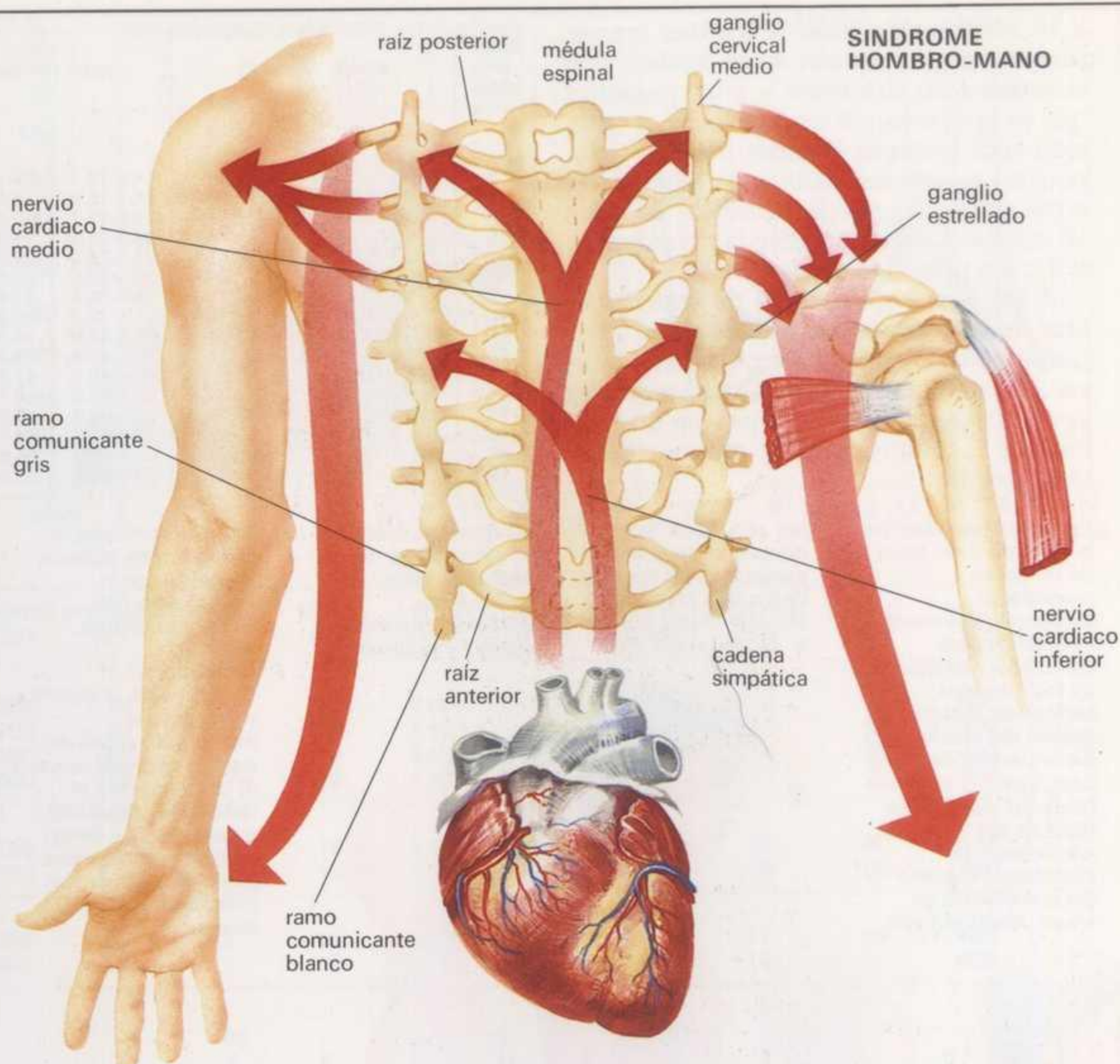
Desde un punto de vista popular, aunque no científico, el infarto abarca una gran variedad de trastornos coronarios —desde las oclusiones de las arterias a las arritmias y a la descompensación cardíaca congestiva— que estorban la capacidad del corazón para bombear la sangre (y, en consecuencia, el oxígeno y otras sustancias esenciales) al resto del organismo. Estos trastornos son, con frecuencia, fatales.

Oclusión de las arterias Desde un punto de vista médico, con la palabra *infarto* se designa comúnmente el infarto del miocardio.

El infarto tiene lugar cuando las arterias coronarias, que transportan la sangre oxigenada desde los pulmones al músculo cardíaco —el cual trabaja a un ritmo muy intenso—, experimentan un estrechamiento o se obstruyen por completo. Si la sangre no es transportada por alguna vía alternativa para alcanzar el miocardio (o músculo cardíaco), una parte de dicho músculo muere, es decir, experimenta una necrosis provocada por la oclusión de los vasos sanguíneos, que recibe el nombre de *infarto*.

El aporte de sangre al miocardio es vital, dado que el músculo cardíaco se contrae y se distiende constantemente. Como cualquier otro músculo del organismo, necesita que se le abastezca de oxígeno y de energía. Tanto el oxígeno como las sustancias energéticas son transportados a través de la sangre; luego, cada célula del músculo ha de ser capaz de llevar a cabo las reacciones químicas que permiten utilizar la energía y producir la contracción muscular. Sin el aporte de estas sustancias nutritivas, las células comienzan a morir, el músculo deja de contraerse y no se produce un adecuado bombeo de la sangre. En estas condiciones se puede llegar incluso a la muerte por un número variado de causas: *shock*, insuficiente circulación debida al debilitamiento de la acción de bombeo, hemorragia en la zona ocluida, o una rotura de la pared cardíaca en la zona del infarto. Si el individuo sobrevive a un episodio de esta naturaleza, el tejido necrótico es sustituido por un tejido cicatricial, y después de una completa recuperación se puede reemprender una actividad física relativamente normal.

El infarto del miocardio habitualmente resulta de una combinación de diversos factores, entre los que se encuentran la *trombosis coronaria* (un coágulo de sangre que se forma en el interior de las arterias coronarias), la *embolia coronaria* (un

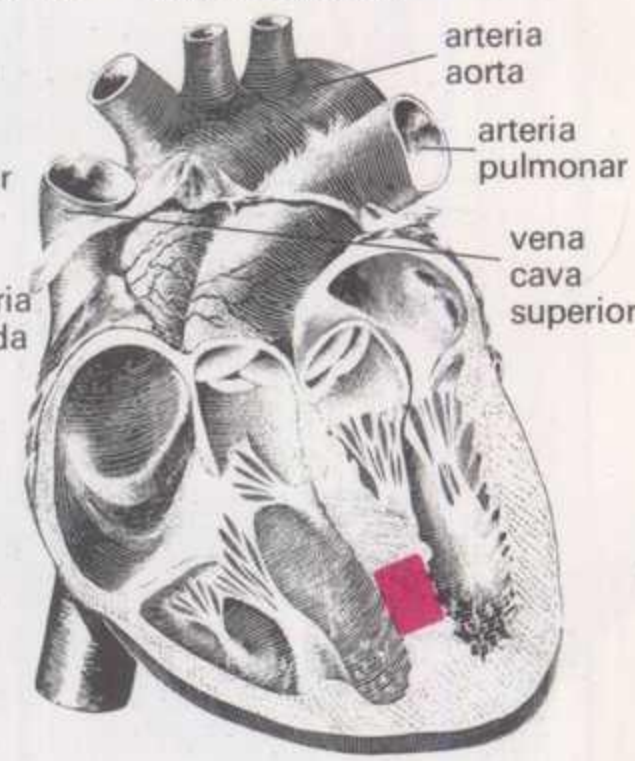
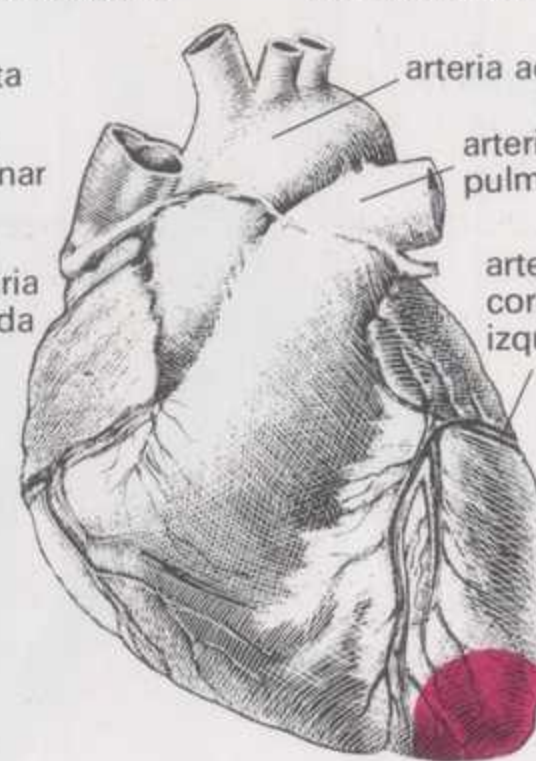
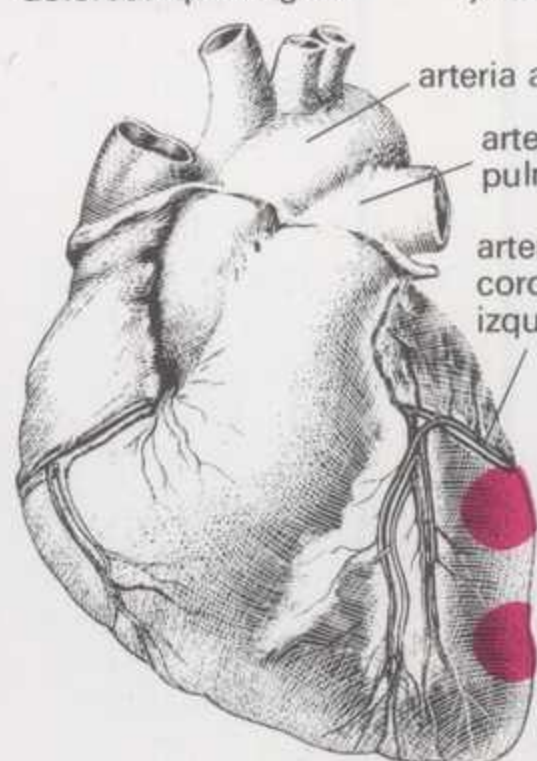


Una de las manifestaciones que sigue a un infarto del miocardio es el *síndrome hombro-mano*. Se trata de un síndrome doloroso que llega a

producir una incapacidad funcional del hombro y sucesivamente de la mano y de los dedos, con alteraciones vasomotoras, edema y manifestaciones

distróficas. Los nervios que transmiten el dolor cardíaco estableciendo una conexión entre las fibras simpáticas del corazón y del plexo branquial son el nervio

cardíaco medio y el inferior. Abajo y a la izquierda, infarto de la pared cardíaca; en el centro, infarto de la punta; y a la derecha, infarto del tabique interventricular.



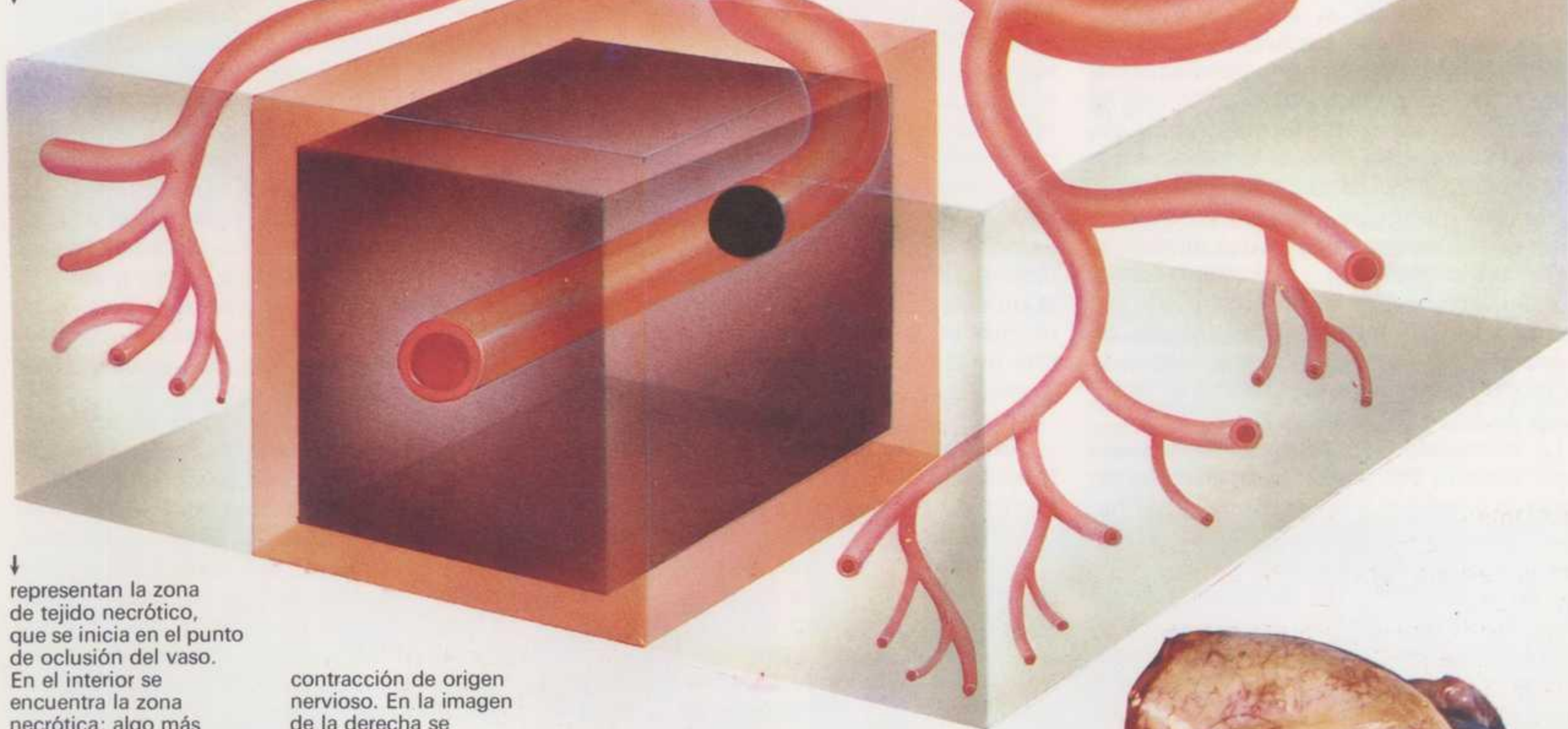
fragmento del trombo transportado por la sangre que se detiene en una arteria coronaria) y la *arteriosclerosis* (endurecimiento y estrechamiento del calibre de las arterias). La edad, la dieta, el nivel de colesterol sanguíneo, hábitos como el de fumar y factores ambientales (como el *stress*) pueden contribuir al desarrollo de las condiciones para un infarto.

Orígenes de un infarto La arteriosclerosis es casi siempre la base de un infarto. Los depósitos de grasa se comienzan a acumular en el endotelio, es decir, el revestimiento interno de las arterias co-

ronarias. Estos depósitos disminuyen el flujo sanguíneo que llega al músculo cardíaco; tras cierto tiempo, el revestimiento de las arterias se torna fibroso y posteriormente se desarrollan lesiones o pequeñas ulceraciones. El efecto es, en consecuencia, una reducción del flujo de sangre que alcanza el músculo cardíaco y un aporte insuficiente de oxígeno y energía, lo que puede conducir a la producción de un intenso dolor en el pecho conocido como *angina de pecho*.

Trombosis y embolia La arteriosclerosis incrementa el peligro de una trom-

Abajo, esquema anatomofuncional del infarto del miocardio. Los sólidos de volumen progresivamente ascendente



↓ representan la zona de tejido necrótico, que se inicia en el punto de oclusión del vaso.

En el interior se encuentra la zona necrótica; algo más fuera, la zona de lesión; y más al exterior, la zona isquémica. Las arterias situadas en las proximidades de la arteria obstruida experimentan una disminución del calibre como consecuencia de un mecanismo de

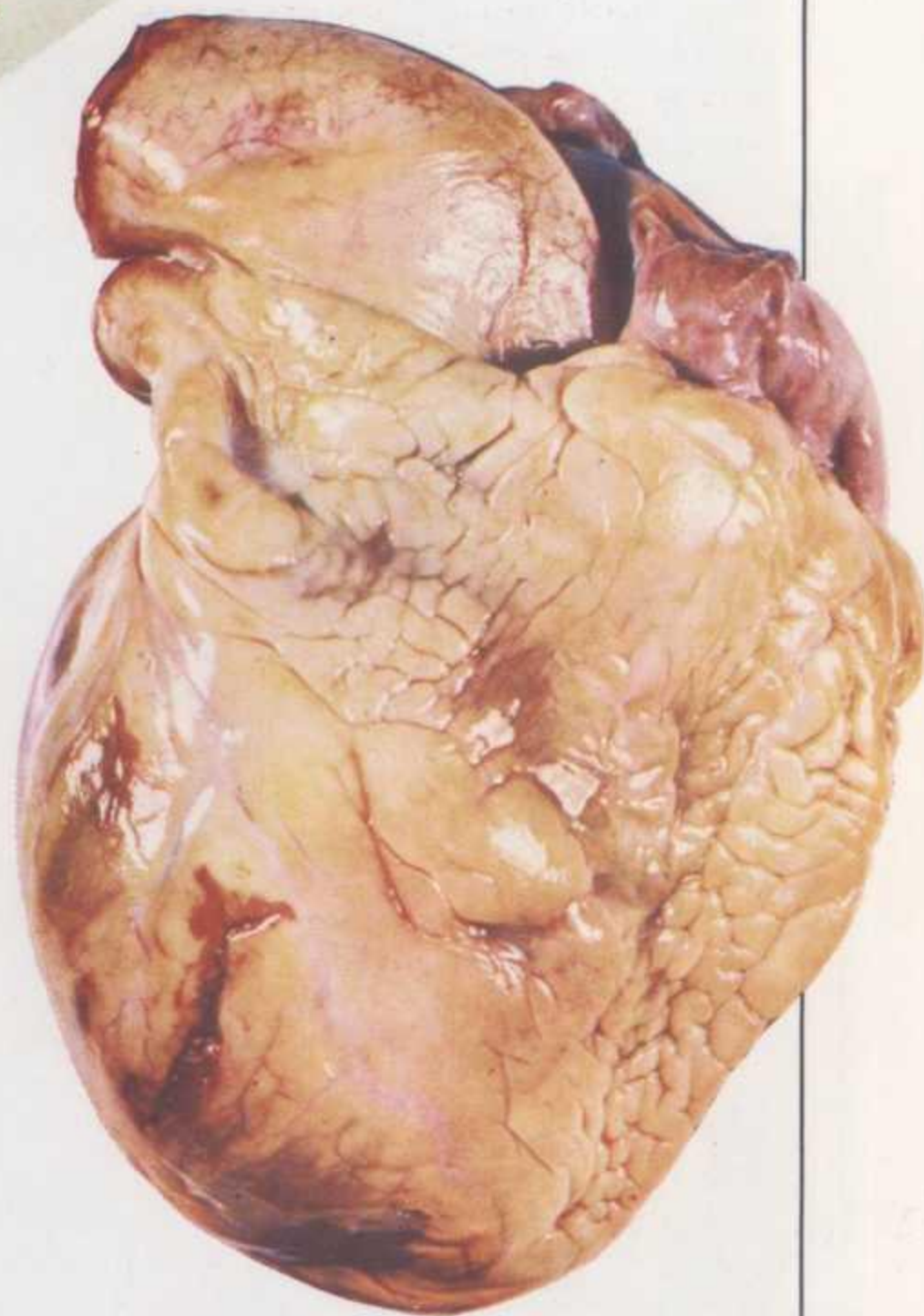
contracción de origen nervioso. En la imagen de la derecha se representa una complicación del infarto, rara y dramática, de consecuencias fatales: la rotura del corazón. Se puede observar la lesión inferior correspondiente a la pared externa del ventrículo izquierdo.

bosis coronaria, es decir, la formación de un coágulo sanguíneo en los puntos de las lesiones de la pared arterial. Un coágulo pequeño puede ocasionar un estrechamiento del calibre de la arteria; un coágulo de grandes dimensiones puede conducir a una oclusión, esto es, un bloqueo total de la arteria. Una embolia coronaria es un coágulo de sangre que viaja a través del flujo sanguíneo, de modo similar a como lo hace un tronco sobre un río, y que puede ser detenido por una arteria de dimensiones inferiores a las del propio "émbolo", originándose un bloqueo del flujo sanguíneo en esta arteria. En el corazón, un acontecimiento de esta naturaleza puede provocar un infarto, si bien esto sucede en raras ocasiones; en el cerebro, una embolia puede causar un accidente vascular con producción de una parálisis.

Cuando tiene lugar una trombosis coronaria, la víctima experimenta con frecuencia un dolor intenso y opresivo en el pecho y, en ocasiones, su respiración se hace difícil. El dolor puede irradiarse hacia el brazo izquierdo o hacia el cuello. Este dolor se acompaña a menudo de debilidad y de náuseas. En algunos casos, sin embargo, el infarto del miocardio sólo se puede diagnosticar a través de pruebas de laboratorio. Los infartos más graves pueden acompañarse también de arrit-

mias (irregularidades en el latido cardíaco) y descompensación cardíaca congestiva. Cuando el ventrículo izquierdo (la cavidad del corazón que expulsa la sangre a la aorta) se debilita, por ejemplo por un infarto, la sangre tiende a retroceder hacia los pulmones y la congestión conduce a un acúmulo de fluido acuoso en los pulmones. La presencia de este fluido impide a su vez el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono en los pulmones, lo que puede conducir rápidamente a la muerte.

El tratamiento El infarto, en nuestros días, no siempre es fatal, gracias a los progresos de la terapéutica médica y a la presencia de especialistas en reanimación cardiopulmonar. Por el contrario, hoy en día puede hacerse mucho para impedir que sobrevenga un infarto. A las primeras señales de posibles problemas, se puede efectuar una *angiografía*, es decir, un estudio con rayos X utilizando un medio de contraste para poner de manifiesto las arterias coronarias. Posteriormente se puede efectuar una intervención de tipo *bypass*, esto es, la creación de una circulación colateral para que la sangre llegue a las zonas posteriores al estrechamiento arterial. Esto puede conseguirse trasplantando un trozo de la arteria femoral del paciente a la arteria coronaria, uniéndolo a ambos lados de la zona de la obstrucción. Con ello se permite a la sangre que "salte" el punto obstruido y que llegue al músculo cardíaco. Dado que con mucha frecuencia se afectan las tres principales arterias coronarias, esta intervención quirúrgica se denomina a veces de *triple bypass*.



Los pacientes con enfermedad coronaria de menor gravedad pueden someterse a un tratamiento médico, por ejemplo con nitroglicerina, que colabora al mantenimiento de las arterias dilatadas y abiertas al flujo sanguíneo.

Las nuevas investigaciones que se ocupan de los niveles de colesterol en la sangre y de algunos tipos específicos de grasas en la sangre permitirán pronto detectar a las personas con mayores probabilidades de sufrir un infarto, aun antes de que presenten los primeros problemas.

Véase **Circulatorio, sistema; Corazón**

Infección

El virus que causa la poliomielitis en el hombre puede encontrarse a veces en el tracto gastrointestinal en un estado de pacífica coexistencia, sin provocar ningún efecto patológico. Solamente ocasiona problemas cuando invade todo el organismo y alcanza el sistema nervioso central. De modo similar, la bacteria *Staphylococcus aureus* vive habitualmente en la piel humana, manteniendo con su huésped una relación que podríamos calificar de amistosa. Pero si la misma bacteria penetra en el organismo, puede ocasionar una peligrosa infección cardíaca. Estos ejemplos constituyen una alteración de las relaciones que, por regla general, se establecen entre el hombre y sus parásitos, a la cual el sistema de defensa de nuestro organismo no siempre responde de modo adecuado, permitiendo el desarrollo de infecciones.

La infección, en pocas palabras, tiene lugar cuando los parásitos se instalan en órganos o tejidos que no son su sede habitual. Si el sistema inmunitario del individuo reacciona con prontitud y envía al lugar de la infección los glóbulos blancos de la sangre y los anticuerpos, la batalla finaliza rápidamente, y con mucha frecuencia el hombre ni siquiera se da cuenta de haber sufrido una infección. Si, por el contrario, el sistema inmunitario no reacciona de modo adecuado, entonces la infección puede transformarse en una enfermedad, que puede incluso producir la muerte del enfermo.

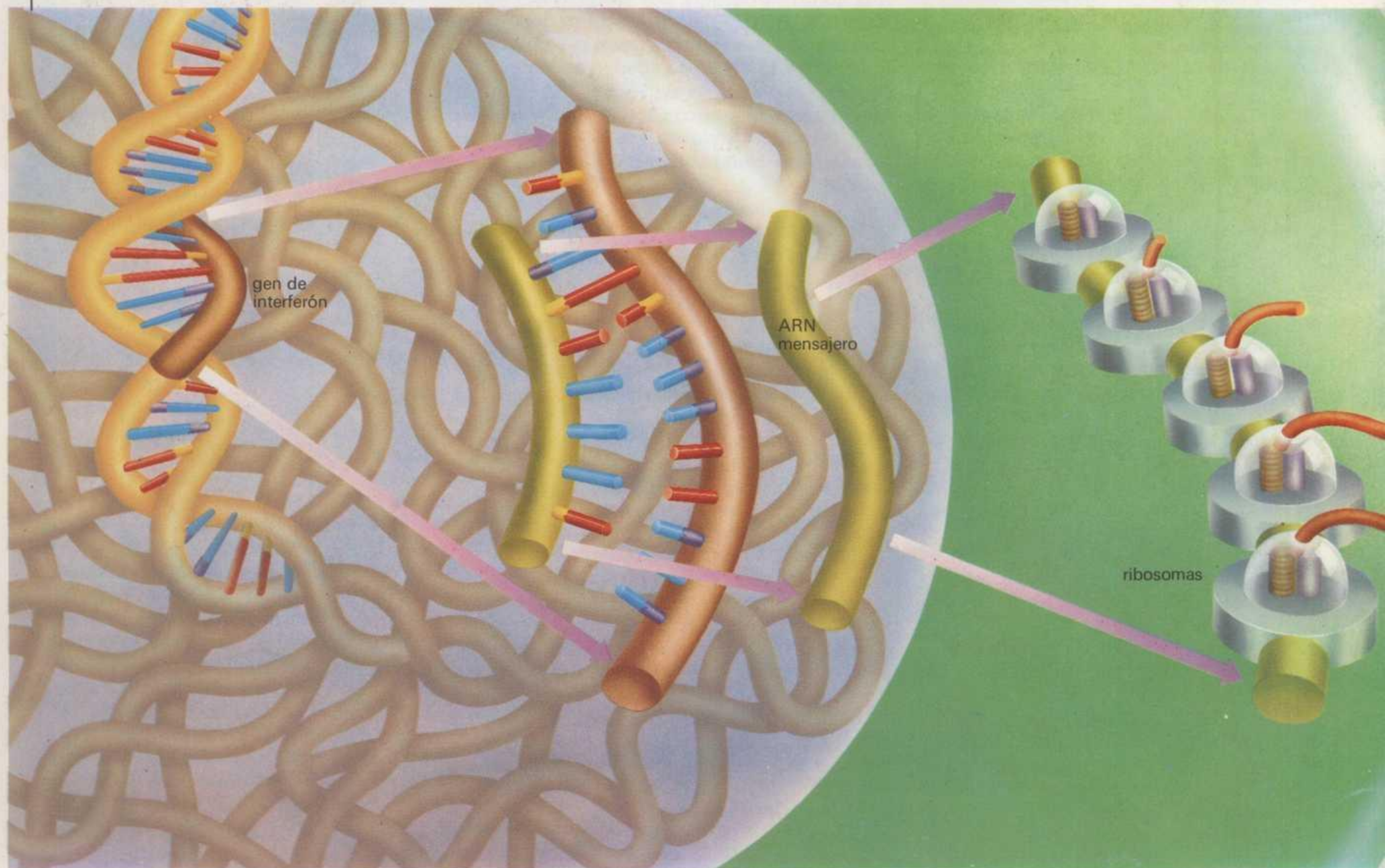
El ataque infeccioso puede tener lugar por obra de bacterias, virus, hongos, gusanos, protozoos e incluso por una pequeña familia de microorganismos, las *rickettsias* (productoras del tifus). La virulencia (es decir, la capacidad del agente infeccioso para provocar la enfermedad) y la resistencia opuesta por el organismo son los dos elementos clave que determinan el resultado de la infección. En general, de la invasión se pasa a la infección, que se manifiesta poco más o menos por los mismos síntomas, por proliferación de los agentes infecciosos y finalmente por la inflamación (con dolores y fiebre, por mencionar sólo dos síntomas). Habitualmente, la inflamación es el primer signo externo de que en la defensa natural del organismo se ha abierto una brecha bastante grave.

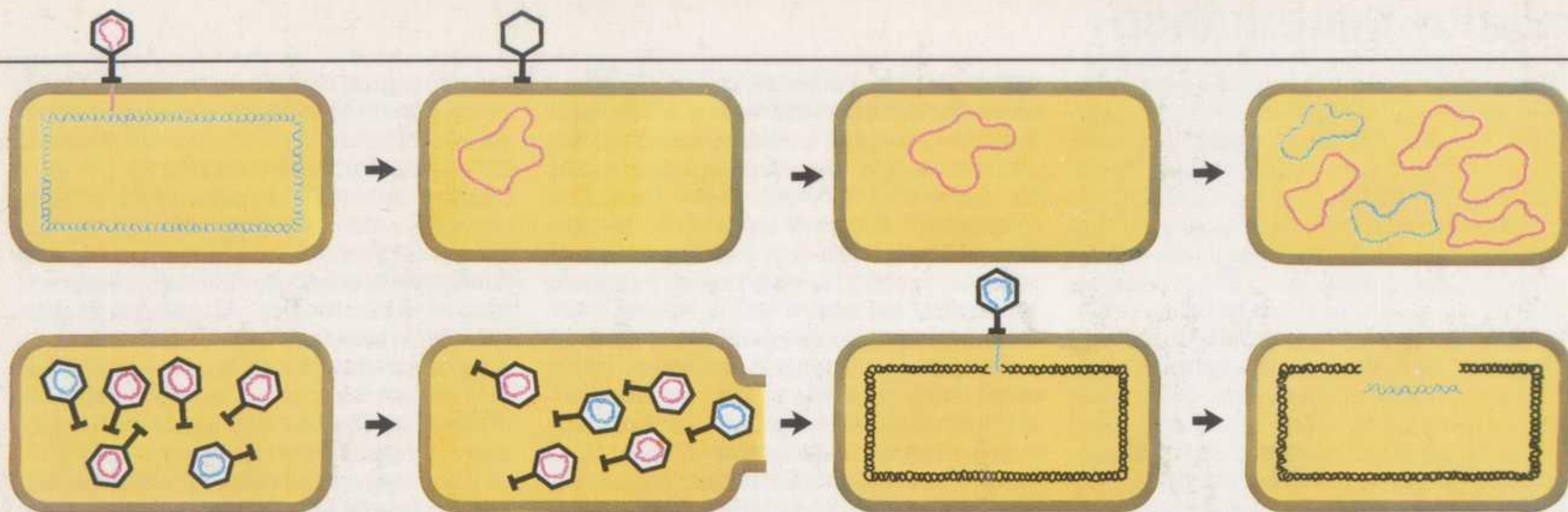
Las vías de entrada Los agentes infecciosos pueden penetrar en el cuerpo a través de muchas vías de entrada. Algunos pueden ser inhalados por el tracto respiratorio, como el virus de la gripe. Otros pueden ser ingeridos a través del tracto gastrointestinal, como tiene lugar con la larva del gusano que provoca la triquinosis. Otros incluso son capaces de atravesar las mucosas de los ojos, de la boca y del tracto genital, como la bacteria de la sífilis. El hongo que provoca la tiña utiliza como vía de entrada los folículos pilosos de la piel y la bacteria que causa el tétanos penetra por las heridas o las inyeccio-

nes. Una vez que han logrado entrar, estos invasores comienzan una batalla con las defensas locales, y, si éstas no logran bloquearlos, se producirá una infección que puede resultar peligrosa.

La mayor parte de las infecciones se produce por bacterias y virus, los artífices de los más importantes daños a los tejidos. Las invasiones bacterianas no sólo son peligrosas porque los gérmenes se multiplican rápidamente e invaden los órganos-diana, sino, sobre todo, porque incluso una colonia de pequeñas dimensiones produce toxinas o sustancias venenosas que pueden ser directamente letales. La bacteria de la difteria es tan venenosa que 1/30 de miligramo de su toxina —una dosis muy baja en comparación con la de los venenos más difundidos— resulta fatal para un hombre adulto.

Algunas bacterias, como el *Pneumococcus* (que origina la pulmonía), son capaces de asentarse en los pulmones precisamente porque saben combatir los mecanismos corporales de defensa. Habitualmente, los anticuerpos atacan a los parásitos invasores, o antígenos, combinándose químicamente con ellos y utilizando los glóbulos blancos de la sangre para destruirlos. Los neumococos, por el contrario, se encuentran rodeados por una cápsula que resiste los ataques de los glóbulos blancos. Privados de esta protección, los neumococos no podrían provocar enfermedad. Pero, por fortuna, la mayor parte de las infecciones bacterianas han sido es-





La más simple modalidad de infección es la que tiene lugar cuando un virus penetra en el interior de una célula bacteriana. Primeramente se fija en la pared celular, a continuación inyecta su propio material

hereditario. Este material se duplica varias veces y cada "copia" del cromosoma sintetiza en torno a sí una cápsula proteica. Al llegar a este punto, ya se han formado nuevos viriones que son capaces de liberarse

y de alcanzar otras bacterias, colonizándolas y difundiendo así, rápidamente, lo que ya es un proceso infeccioso. En el caso de las infecciones víricas determinadas por los bacteriólogos puede suceder incluso

que el virus transporte material hereditario de la célula huésped, modificando el patrimonio genético de la misma. Cuando los virus penetran en un organismo pluricelular, el proceso infeccioso determina una respuesta de tipo

defensivo por parte del sistema inmunitario. Esta respuesta implica la puesta en marcha de varias defensas naturales. Las distintas modalidades de defensa del organismo frente a un cuerpo extraño capaz de activar al sistema

inmunitario constituyen el fenómeno conocido como *inflamación*. Mediante el proceso inflamatorio se movilizan los mecanismos inmunológicos, tanto humorales como celulares.

tudiadas a tiempo y pueden ser vencidas por los antibióticos.

Las invasiones víricas Las infecciones víricas provocan daño en los tejidos humanos porque los virus penetran en las células y las utilizan para su propia reproducción. Si sometemos a examen un buen número de casos para ver cómo se desarrolla la mayor parte de las infecciones

víricas, resultará que muchas células son destruidas, ocasionando graves daños al organismo. El virus de la poliomielitis ocasiona poco daño cuando se encuentra en la garganta o en el tracto gastrointestinal; pero si alcanza el sistema nervioso central y ataca las células nerviosas, anula la capacidad de éstas para transmitir los impulsos electroquímicos. Cuando resultan destruidas muchas células, los impulsos nerviosos no logran alcanzar las células musculares y sobreviene la parálisis.

Cuando los parásitos hacen su ingreso y se propagan hasta llegar al sistema linfático y circulatorio, nos encontramos entonces con una infección general, o *septicemia*, difundida por todo el organismo.

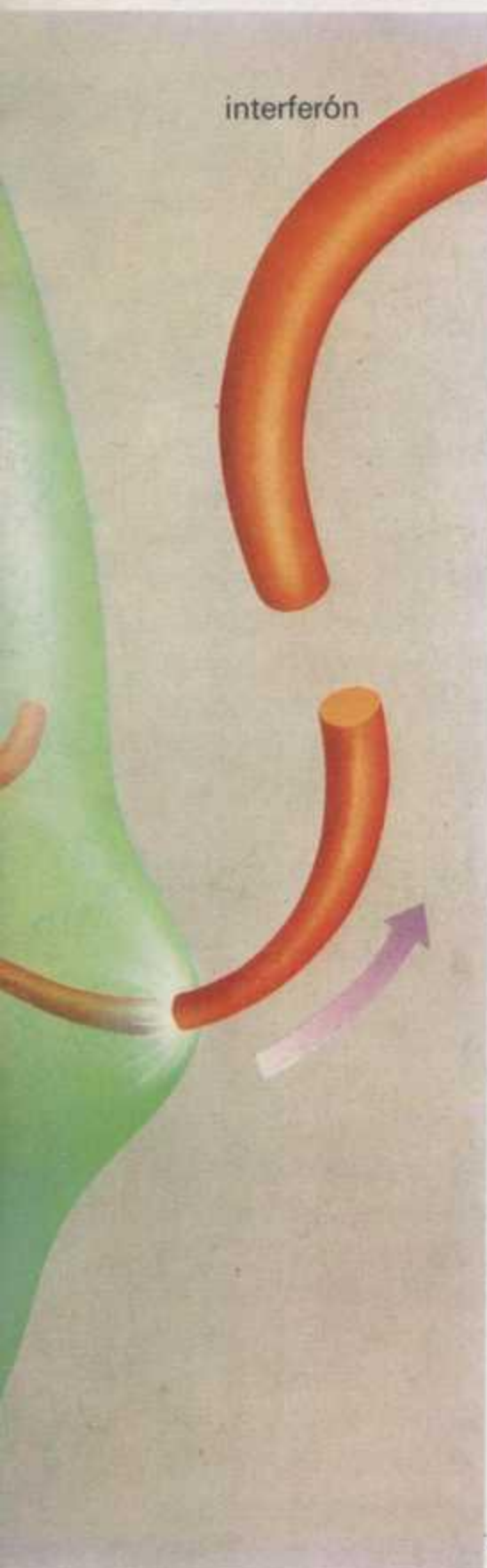
La fase inflamatoria En el momento en que la enfermedad ha llegado a un determinado estadio de su desarrollo, la persona afecta comienza a percibir los síntomas de la enfermedad por el efecto de la inflamación, que es la respuesta natural del cuerpo a las amenazas externas. Para defenderse de las invasiones bacterianas, virales o de las toxinas, aparece en la sangre una especie de moléculas proteicas que tiene el efecto de elevar la temperatura corporal, probablemente para aumentar la eficacia del sistema inmunitario. Obviamente, este fenómeno da como resultado la fiebre. Los signos clásicos de la inflamación son: dolor, fiebre, hinchazón y enrojecimiento.

Otro síntoma de una infección activa es la producción incrementada de fluidos en la zona infectada. Una producción excesiva de moco por la nariz es síntoma de resfriado, la diarrea es señal de una infección intestinal; son éstos algunos ejemplos de la secreción aumentada de fluidos. El paso de líquidos a la zona donde existe una infección tiene la finalidad de disminuir la cantidad de gérmenes y sus toxinas, y de favorecer la expulsión de los mismos a través de la tos, el estornudo y la diarrea. El

pus, un líquido turbio de color amarillento, que contiene glóbulos blancos, bacterias muertas y líquidos trasudados de los tejidos, es una señal evidente de infección. Cuando se acumula en un órgano, da lugar a un absceso. Las infecciones pueden estar localizadas, originando abscesos o flemones, o bien estar difundidas, como en el caso de la septicemia o del tifus. En cualquier caso, el tratamiento se realiza mediante antibióticos, sulfamidas, quimioterápicos y sueros antitóxicos, que se administran en las dosis convenientes. En algunas ocasiones se hace necesaria la intervención quirúrgica: por ejemplo, una incisión de los abscesos, o incluso la extirpación de órganos enteros infectados (con frecuencia hay que recurrir a una extirpación de las amígdalas si el tratamiento antibiótico no ha resultado eficaz). Existen también infecciones que se manifiestan en órganos lejanos de la región de partida (por ejemplo, a partir de abscesos dentarios pueden desarrollarse infecciones en los riñones). En estas ocasiones se habla de *infecciones focales*. Hasta fecha relativamente reciente, las infecciones representaban una de las más frecuentes causas de muerte entre la población. Hoy en día, gracias al descubrimiento de los antibióticos y a otros hallazgos terapéuticos, la mayoría de las infecciones puede ser combatida con éxito. Los términos *cólera*, *tifus*, *pulmonía*, *peste*, etc. ya no desencadenan temor ni pánico como en otros tiempos. El control de las infecciones es uno de los factores principales que, en este último siglo, han determinado el incremento de la esperanza de vida.

Nuevas soluciones —como la producción de interferón y la difusión de la Medicina preventiva— permitirán, según se piensa hoy, mayores éxitos y una mejor protección de la salud.

Véase **Bacterias; Enfermedad; Enfermedades infecciosas; Inmunidad; Fiebre; Virus**



Las células son capaces de sintetizar un potente compuesto proteico de actividad antiviral, que liberan en los espacios intercelulares. El *interferón* confiere a las células resistencia contra las infecciones víricas. La técnica más reciente de producción consiste en introducir un virus que activa el gen del interferón en bacterias transformadas por el hombre por medio de manipulaciones genéticas. El ADN nuclear, en el que se localiza el gen, produce el ARN mensajero. Este abandona el núcleo para transportar el mensaje genético a los ribosomas, que así comienzan a producir interferón en grandes cantidades. Veinticuatro horas después de la infección por parte del virus, las células bacterianas son centrifugadas para recuperar el interferón "bruto". Las diferentes modalidades de vacunación y de sueroterapia constituyen también ejemplos de defensas utilizadas contra las infecciones.

Infinito matemático

El adjetivo *infinito* se utiliza para calificar a aquello que no tiene *fin* o *término*, aquello que es *interminable*, *ilimitado* o *no finito* en algún sentido. Tiene, pues, y en principio, una connotación negativa; es lo contrario de lo *limitado*, *acabado* o *finito*. En el lenguaje usual —artístico, literario o familiar— *infinito* viene a usarse, de modo hiperbólico, como sinónimo de *muy grande*; y en contextos más rigurosos, para designar a *algo más grande que cualquier cosa finita que pueda uno imaginar*. A veces se usa *infinito* como sustantivo, y también *infinitud*, para designar a lo que tiene la condición de infinito.

En las ciencias físicas —más concretamente en la Cosmología— se tiene planteado de antiguo el tema de si el Universo es finito o infinito (en el espacio) y si es eterno o tuvo un principio. Filósofos y científicos han discutido durante siglos sobre ello, sin que la razón o la experiencia hayan zanjado definitivamente la cuestión. Hoy, las ideas cosmológicas predominantes se inclinan por un universo finito pero ilimitado (lo que es posible si se admite su curvatura, lo mismo que la superficie esférica es finita pero sin fronteras) y que se encuentra en constante expansión. Se cree, además, que dicha expansión se inició en un instante en el que toda la materia estaba concentrada y se produjo una

explosión. Sin embargo, no se tiene una contestación definitiva sobre la siguiente cuestión: ¿seguirá indefinidamente la expansión? O, por el contrario, ¿cesará cuando alcance el Universo cierta dimensión, iniciándose entonces un proceso de contracción hasta volver a concentrar toda la materia, producirse una nueva explosión y empezar un nuevo ciclo? Aparte, claro está, sigue habiendo opiniones a favor de un Universo *estacionario* (es decir, que hubiera existido desde siempre y que existiría en el futuro como en la actualidad).

A su vez, en la Religión y la Teología el *infinito* aparece para calificar las perfecciones de la Divinidad. Para los filósofos, el estudio de los problemas que plantea el concepto mismo de lo *infinito* (sea físico, religioso o matemático) ha sido, a lo largo de la historia, tarea principal.

En cuanto a la propia Matemática ¿qué se entiende en ella por *infinito*? Conveniría, para constatar adecuadamente, hacer una pequeña excursión histórica.

Una ojeada a la historia Se ha discutido sobre la capacidad o incapacidad de los griegos para captar el concepto de *infinito*, en conexión con la que tenían de apreciar los de movimiento o continuo. Parece plausible admitir que la valoración positiva por lo finito y lo estático que te-

nían no les impidió, sin embargo, captar el concepto de *infinito*. La matemática griega entiende la existencia de una sucesión *infinita* de números naturales: $1, 2, \dots, n, \dots$ e imagina la recta o el plano como ilimitados. Es más, utiliza el método de *exhaución* (propuesto, según parece, por Antifón, elaborado por Eudoxo y aplicado magistralmente por Arquímedes) para calcular áreas y volúmenes, que no es sino un proceso de división en partes, cada vez más pequeñas, y suma de los correspondientes valores, lo que equivale a nuestros modernos métodos integrales.

De la importancia del concepto de infinito en Grecia y de sus relaciones con los de continuo y movimiento da buena prueba Zenón de Elea con las *aporías* en que trata de demostrar su imposibilidad. La reacción más notable contra dicha posición se debe a Aristóteles, que elabora toda una teoría del infinito. Dejando de lado sus explicaciones sobre el origen psicológico del concepto y sus posiciones sobre la finitud o no del Universo, conviene destacar sus puntos de vista sobre los dos infinitos matemáticos: el *potencial* y el *actual* (en conexión con su distinción entre *potencia* y *acto*). El *infinito potencial* es el que se da en la sucesión $1, 2, \dots, n, \dots$ (o, análogamente, en la $1, 1/2, \dots, 1/n, \dots$); dado un término cualquiera, n , por avanzado que sea, se *pueden* añadir otros que lo sean más, por ejemplo $n+1$. Se acepta, entonces, que el *infinito* no es algo existente *realmente*, sino que lo que se tienen son números finitos que, *potencialmente*, son siempre superables. Aristóteles sostiene que éste es el infinito que los matemáticos usan y muestra una postura de rechazo hacia un hipotético infinito *actual*, como sería el dado al considerar en su conjunto a *todos* los números. A lo largo de la historia, hasta tiempos recientes, y siempre que ha surgido la cuestión, la solución anterior ha sido la adoptada. El propio Leibniz, uno de los creadores del Cálculo infinitesimal, así lo entendía. La enorme autoridad de Gauss iba en la misma dirección; en 1831, en una carta a Schumacher, rechaza el uso hecho por éste del "infinito como algo acabado" y afirma que "el infinito no es sino una forma de hablar" para distinguir el caso en que el límite no existe y ciertas cantidades pueden superar cualquier cota. En la teoría de límites que establece Cauchy, y en todo el Análisis clásico que le sigue, ésa era la posición más aceptada.

Así, por ejemplo, las sucesiones

$$\begin{aligned} 1, 2, \dots, n, \dots \\ 1, 4, \dots, n^2, \dots \end{aligned}$$

se dice que *no son convergentes*, o que *divergen*, o que *tienden a infinito*, porque, dado cualquier valor, siempre hay en la sucesión elementos (en realidad *todos* menos un número finito de ellos) que le superan. Por el contrario, se dice que:

$$1, 1/2, \dots, 1/n, \dots$$

tiende a cero, o que la sucesión de término general $(n+1/n)^n$ tiende al número e ,



Aristóteles (ca. 384-322 a. de C.) es uno de los filósofos más importantes de todos los tiempos. Discípulo de Platón y maestro de Alejandro Magno, cultivó desde lo que hoy se llaman ciencias naturales hasta las políticas y económicas, pasando por la psicología, la moral, etcétera. Su contribución a la lógica y a la metafísica ha marcado a éstas durante más de dos milenios. Es por ello normal que no se considere importante el más modesto papel que tuvo en el campo matemático. La contribución más importante de Aristóteles a la Matemática es su filosofía del *infinito* matemático, basada en la distinción entre el potencial y el actual. La misma resistió hasta que Cantor mostró que junto al *infinito potencial* de la sucesión de los naturales $1, 2, \dots, n, \dots$ debe considerarse el *infinito actual* del conjunto \mathbb{N} de los naturales y, más aún, el de conjuntos como \mathbb{R} .

cuando n tiende a infinito, porque la diferencia entre el límite respectivo y el correspondiente término de la sucesión puede hacerse tan pequeño como se quiera sin más que elegir n suficientemente grande. Siempre aparece el carácter *potencial* del infinito o, mejor, su naturaleza de convención, como quería Gauss. Ese es el mismo sentido del método de *exhaución* o de sus herederos lejanos en el Análisis moderno (suma de series o cálculo de integrales). Así, por ejemplo, si se tiene una unidad, siempre se puede dividir en dos mitades, la segunda de ellas en dos cuartos, el último de éstos en dos octavos y así sucesivamente, se tendrá entonces que:

$$1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^n} + \dots$$

El ejemplo muestra cómo la *potencial* división de la unidad en sucesivas fracciones puede siempre restituirse mediante la suma de todas ellas: por mucho que se divida en mitades sucesivas, la suma siempre vale la unidad.

Esa convención es la que se representa con el símbolo ∞ . Decir que a_n tiende a ∞ o, simbólicamente, que $a_n \rightarrow \infty$, no es sino decir que los a_n son tales que, por grande que sea el número positivo A que se pueda elegir, siempre puede encontrarse un n_0 tal que para

$$n > n_0 \quad |a_n| > A$$

La revolución cantoriana La verdad es que, con un lenguaje cuidadoso, formalizado y riguroso el Análisis fue desterrando infinitos y sustituyéndolos por sucesiones (como la $1, 2, \dots, n, \dots$) sin límite finito; y los *infinitésimos*, o *infinitamente pequeños*, por sucesiones (como la $1, 1/2, \dots, 1/n, \dots$) con límite cero. En ambos casos el término *infinito* podía suprimirse o considerarse como una abreviatura de expresiones más largas, del tenor de "tan grande como se quiera" u otras similares. Gauss, Cauchy y el propio Aristóteles podían descansar en paz.

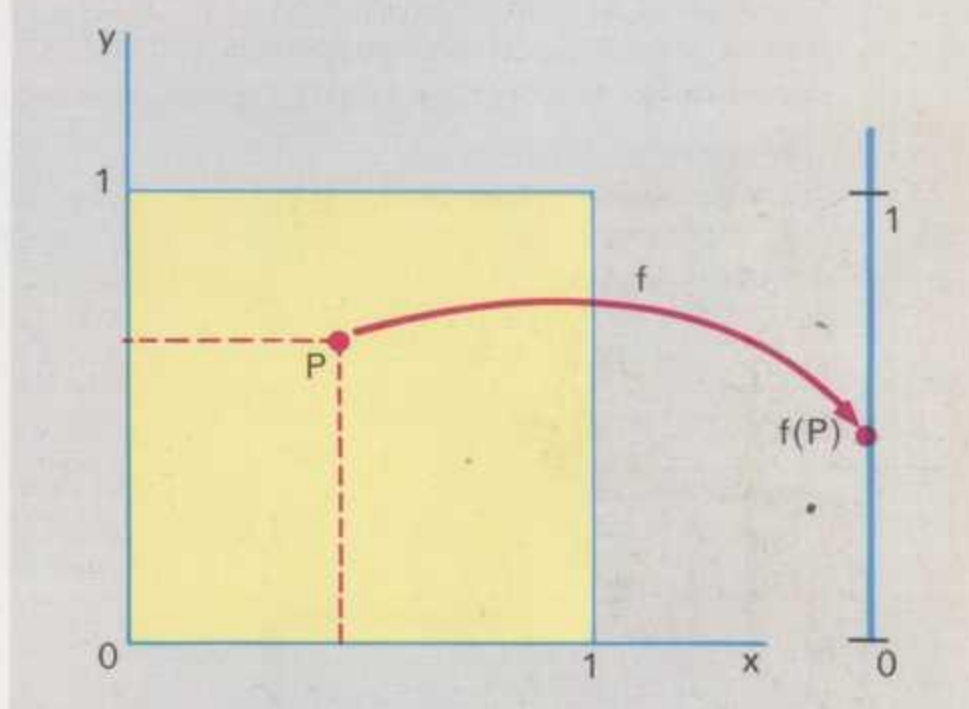
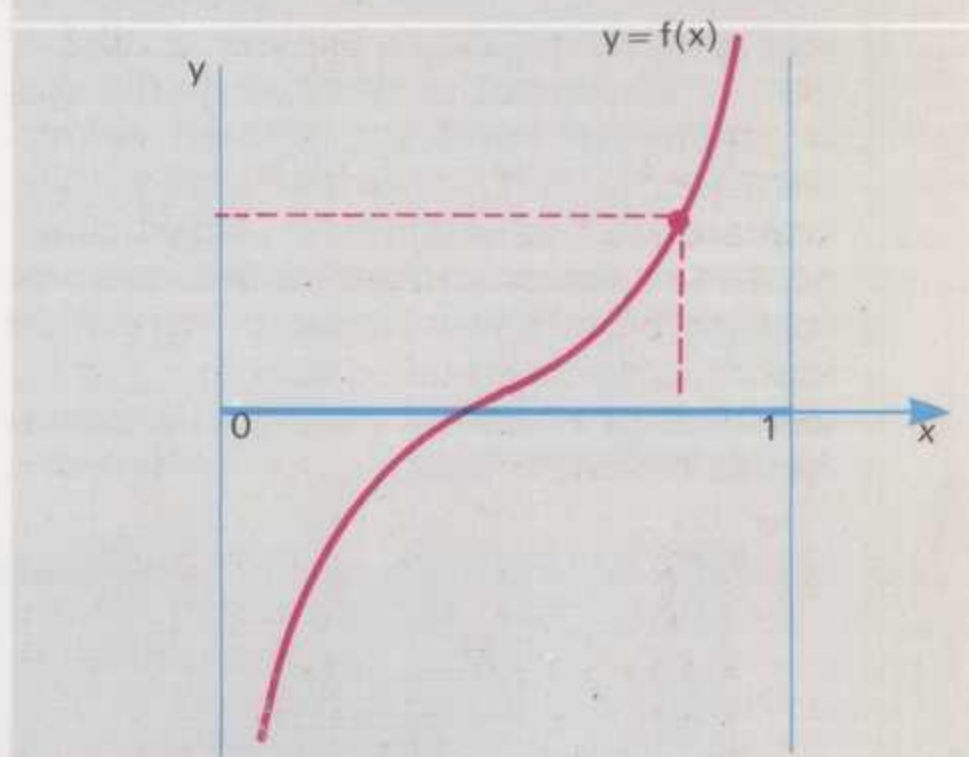
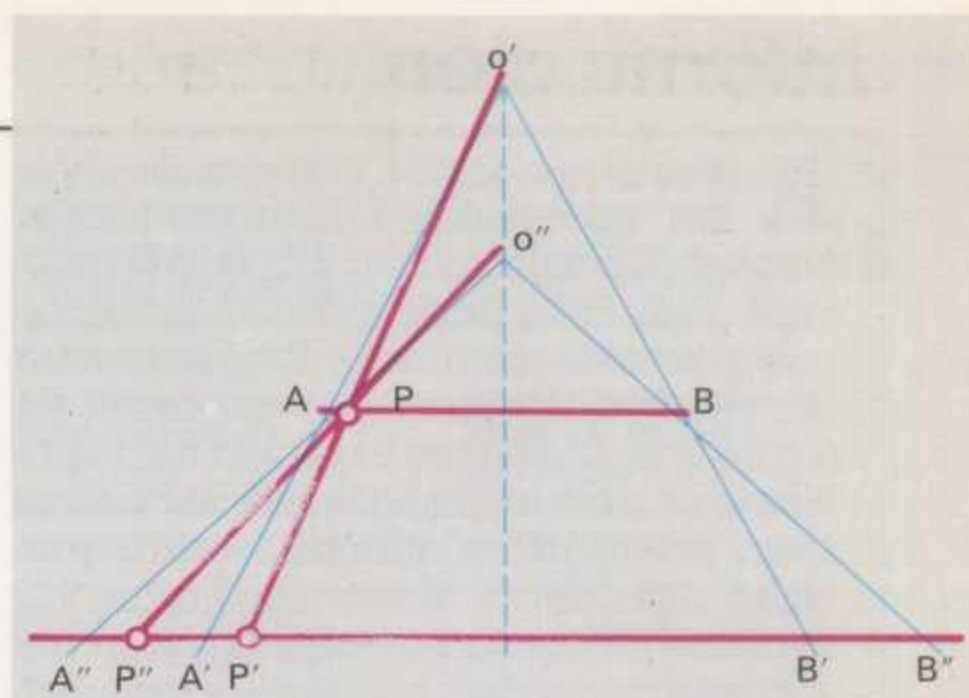
Sin embargo, las cosas no eran tan sencillas. Algunos de los usos matemáticos chocaban con dicho corsé y los espectros de Zenón, Galileo y otros seguían despertando inquietud. La referencia a Galileo se debe a que éste señaló agudamente la paradoja de que siendo los cuadrados perfectos ($1, 4, 9, \dots, n^2, \dots$) "menos numerosos" que los números naturales ($1, 2, 3, \dots, n, \dots$) era, sin embargo, posible ponerlos en correspondencia biunívoca unos con otros ($a n^2$, le corresponde únicamente n y a éste sólo n^2). Lo cual no era más que una de las muchas paradojas que el infinito *actual* presentaba; ya de antiguo se había visto que dos segmentos de diferente longitud pueden ponerse en correspondencia biunívoca (o, como se diría hoy, en una biyección); es más, hay funciones que hacen corresponder el segmento $(0,1)$ con toda la recta real, por ejemplo $\tan(x - 1/2)$.

Bernhard Bolzano (1781-1848), sacerdote, filósofo y matemático checo poco conocido en su tiempo, fue el autor de un libro, aparecido póstumamente en 1850, *Paradoxien des Unendlichen* ("Paradojas del Infinito"), en el que se ponen de manifiesto casos paradójicos como el citado por Galileo. De hecho, tal libro es un precursor claro de la Teoría de Conjuntos (parece que en él se usó por primera vez el término *conjunto*). No mucho después, uno de los discípulos de Gauss, Richard Dedekind (1831-1916), publicaba un pequeño librito, *Was sind und was sollen die Zahlen* ("Qué son y qué significan los números") en el que aparece ya explícitamente la siguiente definición de un conjunto infinito: "M es un conjunto infinito si es equivalente a una de sus partes propias; en caso contrario, M es finito" (el término "equivalentes" aplicado a dos conjuntos es sinónimo de "equipotentes" e indica que existe una biyección entre ambos).

Georg Cantor (1845-1918), creador de la Teoría de Conjuntos, seguiría ya dicha definición. Cantor no sólo usó conjuntos *realmente* infinitos (en contra de la tesis de la inexistencia del infinito *actual*), como $\mathbb{N} = \{1, 2, \dots, n, \dots\}$, claramente diferentes de las sucesiones *potencialmente* infinitas, sino que, con sus conceptos de *cardinal* y *equipotencia* permitió comparar infinitos. Así, consideró al *cardinal* de \mathbb{N} y de todos los conjuntos equipotentes con él (los llamados conjuntos *infinitos numerables*, entre los que está, por ejemplo, \mathbb{Q}) como primer número *transfinito*; al *cardinal* del continuo $(0,1)$, que es equipotente con $\mathcal{P}(\mathbb{N})$, todo \mathbb{R} y, lo que parece más sorprendente, con \mathbb{R}^2 o \mathbb{R}^n , le consideró el segundo *cardinal transfinito*, conjeturando que no podía existir ninguno intermedio (hipótesis del continuo). Cantor continuó además la sucesión de *transfinitos* y les dio nombre con la primera letra hebrea, \aleph (*alef*) seguida de un subíndice (\aleph_0 para el de \mathbb{N} ; \aleph_1 para el del continuo, etc.).

Como es sabido, la teoría *cantoriana* chocó con enorme oposición y también con grandes valedores. Pronto se pusieron de manifiesto la existencia de paradojas graves y la necesidad de sustituir la teoría *ingenua* por otra formalizada. Por otra parte se generalizó la *hipótesis del continuo* ("cada número *transfinito* es el *cardinal* del conjunto de las partes del conjunto correspondiente al anterior y no existen *transfinitos* intermedios") y se aceptó como axioma!

Por otra parte, la pugna entre *finitistas* e *infinitistas* o, más suavemente, entre quienes aceptan sólo un infinito potencial y los herederos de Cantor, continúa. La mayor parte de los matemáticos contemporáneos siguen las posiciones de Cantor y Hilbert, con las correcciones que supone utilizar la Teoría de Conjuntos en forma axiomatizada (incluyendo como axiomas el de *libre elección* y la *hipótesis generalizada del continuo*); sin embargo, los hay que no los aceptan, por ejemplo los de la escuela *intuicionista*, que sigue a Brouwer (1882-1966).



En la ilustración se dan tres casos en los que *infinitos* aparentemente distintos, son, sin embargo, equipotentes. La figura superior muestra cómo el segmento AB se transforma en los A'B' o A''B'' (en broma suele decirse que se trata de la teoría del "punto gordo", porque parece como si los puntos de A''B'' fuesen más "gordos" que los de A'B', y éstos más

que los de AB). En la segunda figura se muestra algo más difícil: la biyección entre $(0,1)$ y \mathbb{R} . En la tercera, el no va más: el cuadrado $(0,1) \times (0,1)$ es equipotente del segmento $(0,1)$. Esto último fue probado por Cantor al establecer que es una biyección la función que al punto (x,y) de coordenadas $x=0,a_1a_2\dots$ $y=0,b_1b_2\dots$ le hace corresponder $f(x,y)=0,a_1b_1a_2b_2\dots$

En realidad, la cuestión del infinito, la de cuál sea la filosofía de la matemática más plausible, la de las limitaciones que el pensamiento formal tiene, etc. son problemas abiertos que, quizá, lo sigan siendo mientras los hombres hagan matemática y filosofía.

Véase Conjuntos, teoría de; Continuidad; Continuo matemático; Convergencia; Lógica matemática; Matemática; Método axiomático; Series

Información

Actualmente somos capaces de obtener información de gran número de fuentes y de muchas formas: periódicos, libros, radio, televisión, carteles publicitarios y listados de ordenador son fuentes de información que se pueden identificar fácilmente. En cambio, el sonido de un saltamontes o las evoluciones aéreas de una abeja son también informaciones importantes, aunque su significado no resulta evidente de forma inmediata para el observador.

Es necesario distinguir bien entre lo que es información y lo que se define como su "soporte", es decir, el medio que la contiene: el periódico, el listado de ordenador, el vuelo de la abeja no son informaciones propiamente dichas, pero contienen informaciones, de las que son soporte. La misma información se puede transmitir sobre distintos soportes: por teléfono, impresa en un periódico o comunicada mediante gestos.

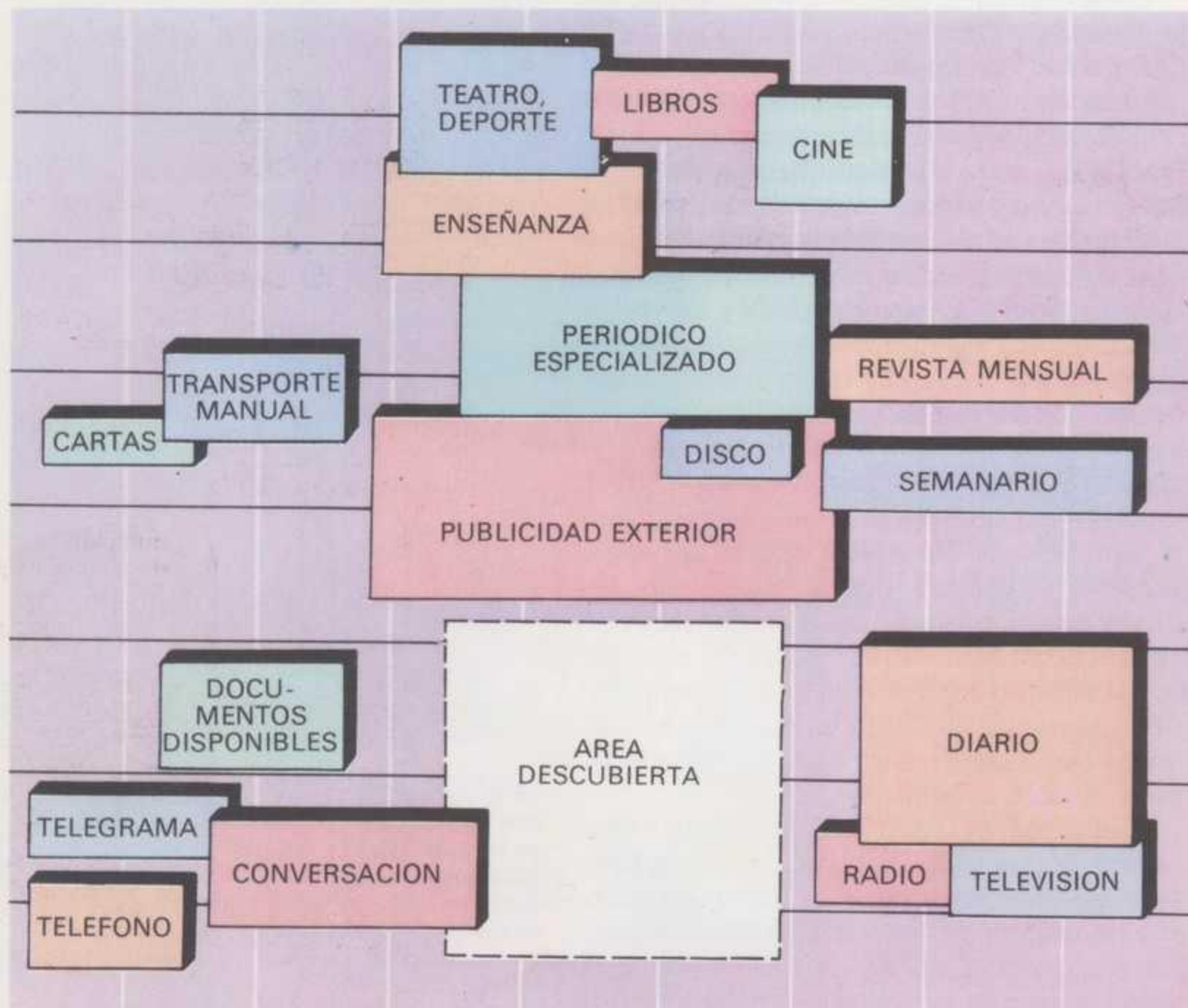
Información es el conocimiento de los hechos del mundo. El conocimiento es un factor clave, ya que un hecho no es una información hasta que no se ha individualizado y reconocido (por ejemplo, que el planeta Júpiter esté rodeado de anillos como Saturno). La información se llega a entender y analizar solamente cuando se está produciendo un proceso de comunicación.

Una información tiene que estar dentro de una estructura para que se pueda utilizar: un alfabeto, un lenguaje de algún tipo (lengua humana, lenguaje de símbolos o un lenguaje especial, como la danza de la abejas).

De los datos a la estructura Para poder estructurar un dato, lo primero que hay que hacer es percibirlo. Un técnico del servicio meteorológico tiene a su disposición muchos datos: fotografías tomadas desde satélites en órbita, valores de

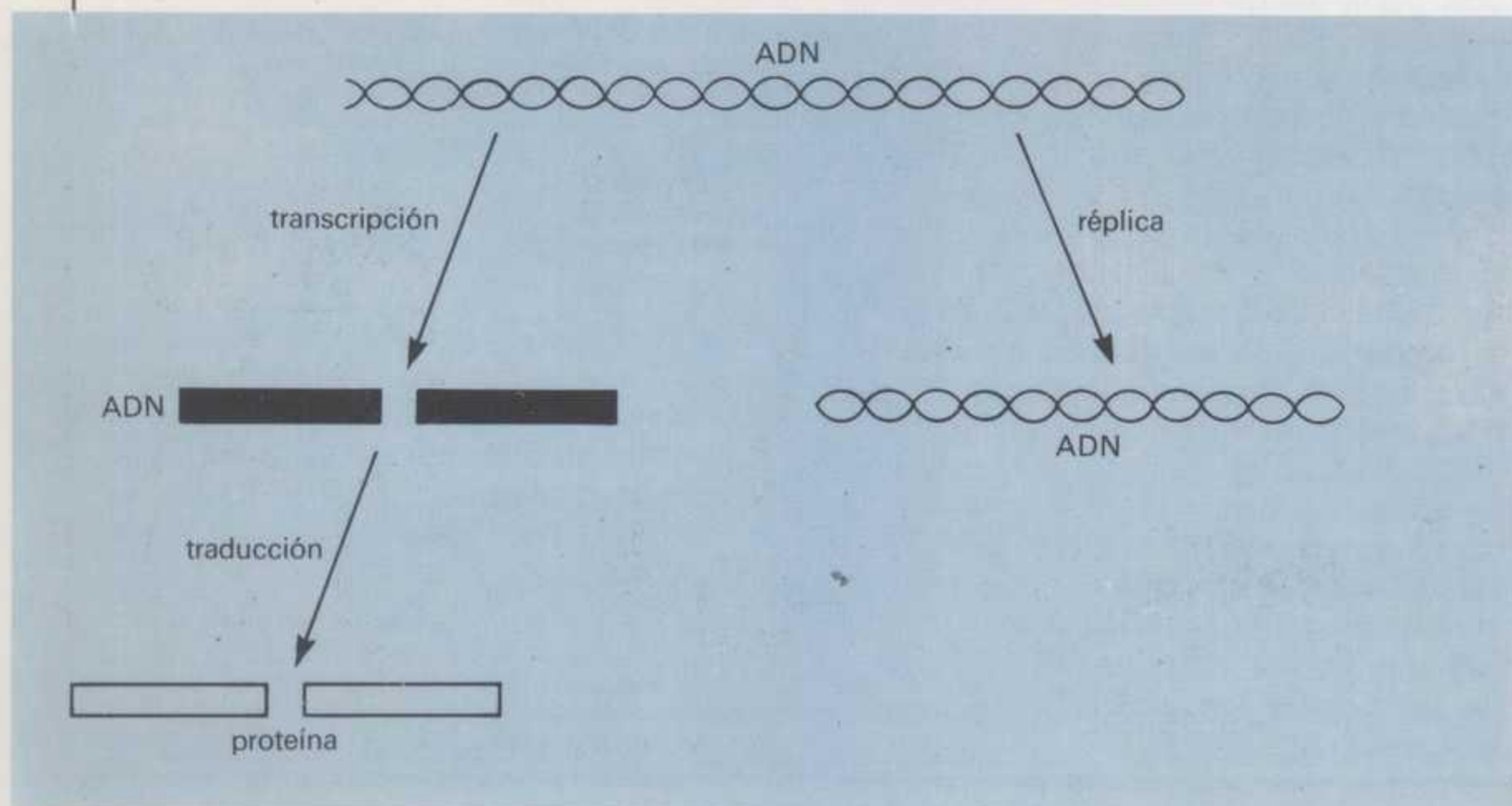
temperatura y de presión, etc. En primer lugar tiene que "verlos" u "oírlos" (si se los comunica otra persona). Estos datos se transformarán en informaciones cuando el técnico los inserte en el marco de sus conocimientos de Meteorología y de la situación actual: la imagen proporcionada por el satélite, el valor de la temperatura, etc. le "dicen" que pronto lloverá o hará buen tiempo. Los mismos datos no serían significativos para una persona que no conociera la *estructura* (en este caso la ciencia meteorológica), razón por la cual no se transformarían en información. El periodista que puede informar a sus lectores en español, trasladado a Shanghai no podría informar a los lectores locales sin conocer la estructura informativa local, en este caso el chino, a menos que se valiese de los servicios de un traductor.

La falta de conocimiento de la estructura informativa puede crear muchos problemas. Un ejemplo claro es el analfabe-



En el diagrama de la izquierda están representados los distintos tipos de medios de comunicación, situados en función de la duración temporal de las informaciones que se comunican y de las dimensiones del grupo al que están dirigidas. Cuanto más arriba está un medio dentro del diagrama, tanto mayor es la duración media de las informaciones que proporciona, y cuanto más a la derecha, tanto más amplio es el grupo social al que está dirigido. En el diagrama, basado en datos recogidos por investigadores japoneses a finales de los años setenta, se observa un área descubierta (para informaciones de duración relativamente corta dirigidas a un grupo de dimensiones medias), hacia la que se dirigen los nuevos medios electrónicos

de tipo telemático, en los que se utilizan tecnologías de telecomunicación e informática. El concepto de información tiene connotaciones amplias. Se obtienen informaciones de fenómenos naturales (la nubosidad del cielo y el tipo de nubes nos dicen algo del tiempo que hará, como es el caso de la fotografía superior de la página siguiente). También es información la que se intercambian las abejas mediante sus "danzas" para avisar de la posición de las fuentes de néctar, así como la que está codificada genéticamente en el ADN, que gobierna el proceso de construcción de las proteínas de todos los seres vivos. El dibujo (abajo, a la izquierda) ilustra el "dogma central" de la Biología molecular que formuló Francis Crick.





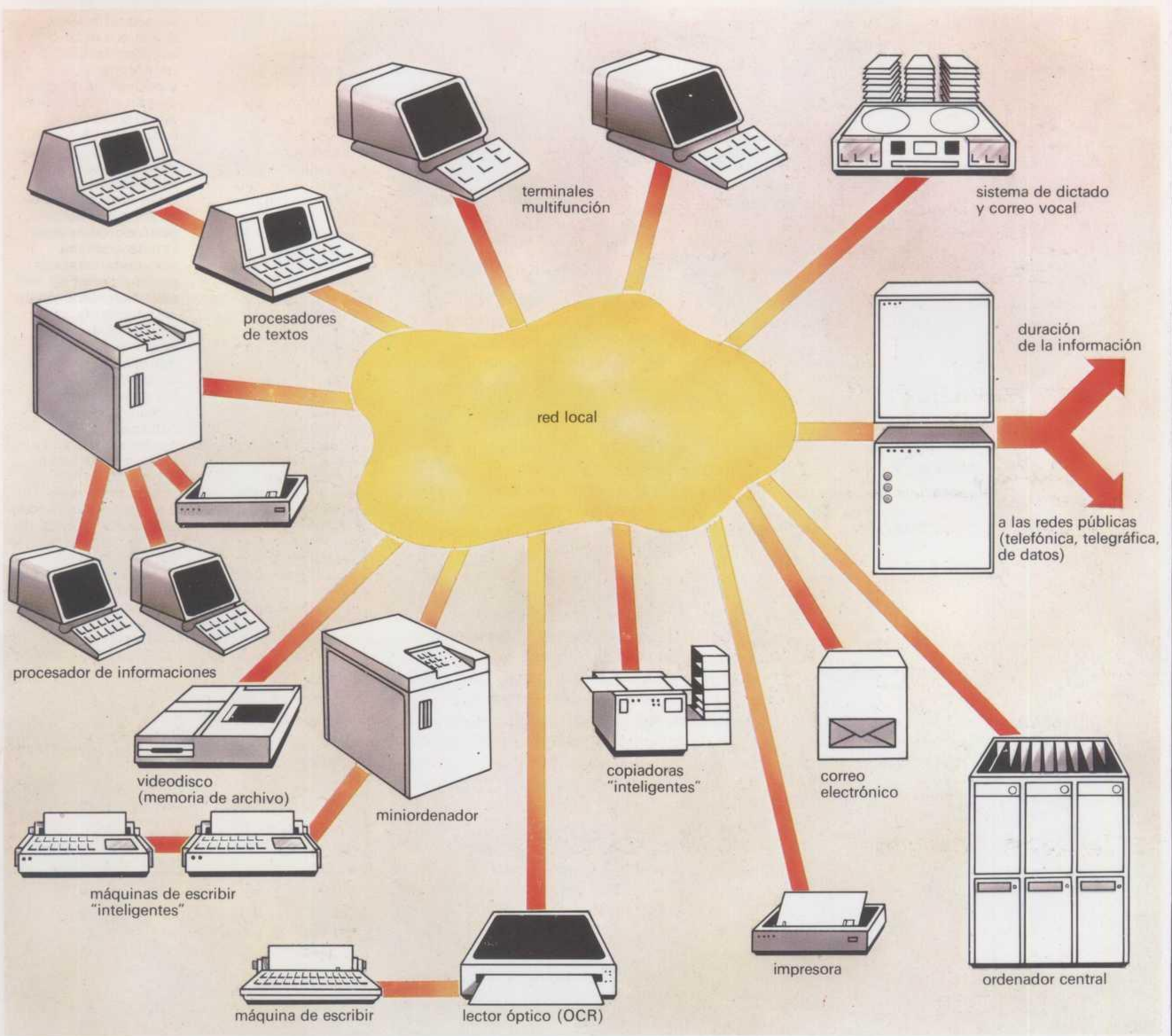
tismo en nuestros días, ya que el soporte de información más importante es el papel impreso: un analfabeto es como alguien que dispone de un mensaje cifrado y que sabe la importancia del mensaje, pero no puede saber lo que dice porque no conoce el código para descifrarlo.

Explosión de información La enorme expansión demográfica, unida al rápido desarrollo tecnológico, ha llevado a lo que se ha llamado *explosión de información*. No poca gente piensa que las informaciones disponibles actualmente son demasiadas, y su grado de comprensión, muy bajo. En cualquier caso, no hay duda de que la información juega en nuestra sociedad un papel esencial que está destinado a crecer más en un futuro próximo.

Véase **Comunicación; Criptografía; Información, recuperación de la; Información, teoría de la; Lenguaje y lenguas**

El concepto de información empezó a utilizarse en los años cuarenta de este siglo a partir de las investigaciones de Ingeniería sobre comunicaciones telefónicas y radiofónicas, para invadir después casi todos los campos, desde la Biología a la Sociología, de la Lingüística a la teoría de la música, ofreciendo claves nuevas para la interpretación de muchos problemas. Desde finales de los años setenta la atención por los procesos informativos se ha centrado especialmente en la oficina, el ambiente de elección de la información y su

proceso. El esquema bajo estas líneas representa una configuración típica de elementos de una oficina normal en un futuro cercano, donde todos los recursos dedicados a procesos de información están unidos entre sí formando una "red local". Las tecnologías electrónicas, especialmente los ordenadores, son las protagonistas de una revolución que se está desarrollando en el campo de la información. Una revolución que hará sentir sus efectos no sólo en la oficina o en los procesos de producción, sino en la casa, en la escuela, en el ocio y otras muchas facetas.



Información, recuperación de la

La expresión *recuperación de la información* (o, con terminología anglosajona, *information retrieval*) quiere decir, en su sentido más amplio y preciso, volver a obtener cualquier tipo de dato almacenado previamente en la memoria de un ordenador, en el catálogo de una biblioteca, en la mente de un ser humano o en cualquier otro sistema de archivo.

Los primeros problemas A partir del nacimiento de la escritura en el cuarto milenio antes de Cristo y de la expansión de las bibliotecas religiosas y de los sistemas de cobro fiscal por parte del Estado en Mesopotamia y en Egipto, se hicieron necesarios algunos sistemas para la recuperación de los datos. Desde el punto de vista religioso, existían centenares de conjuros, oraciones y plegarias distintas que se

debían recordar y repetir en el momento oportuno, por lo que se hizo —como forma de catalogación— un índice de los primeros versos de cada una. Los recaudadores que administraban los bienes y percibían los impuestos que correspondían a los sacerdotes y a los gobernantes del Oriente Medio antiguo empezaron a ordenar sus datos en tablas formadas por columnas. La organización de datos en columnas para búsqueda de información es un método que se sigue utilizando en nuestros días.

El sistema decimal de Dewey En los últimos años del siglo pasado, Melvil Dewey hizo que la historia de la recuperación de información diera un paso adelante al desarrollar el Sistema Decimal para la Clasificación de Libros en las bibliote-

cas. El sistema de Dewey agrupa los libros en categorías numeradas de 000.001 a 999.999, con tres ventajas: una es que cada libro tiene su número específico, que a menudo es una combinación de varios números y una letra (normalmente la inicial del apellido del autor); en segundo lugar, los libros que tratan del mismo tema están juntos por grupos, facilitando así la consulta; en tercer lugar, las categorías generales del sistema Dewey son iguales en todas las bibliotecas, de forma que, aunque los libros puedan variar de una biblioteca a otra, su situación en la clasificación será la misma, con lo que se facilita la recuperación de información.

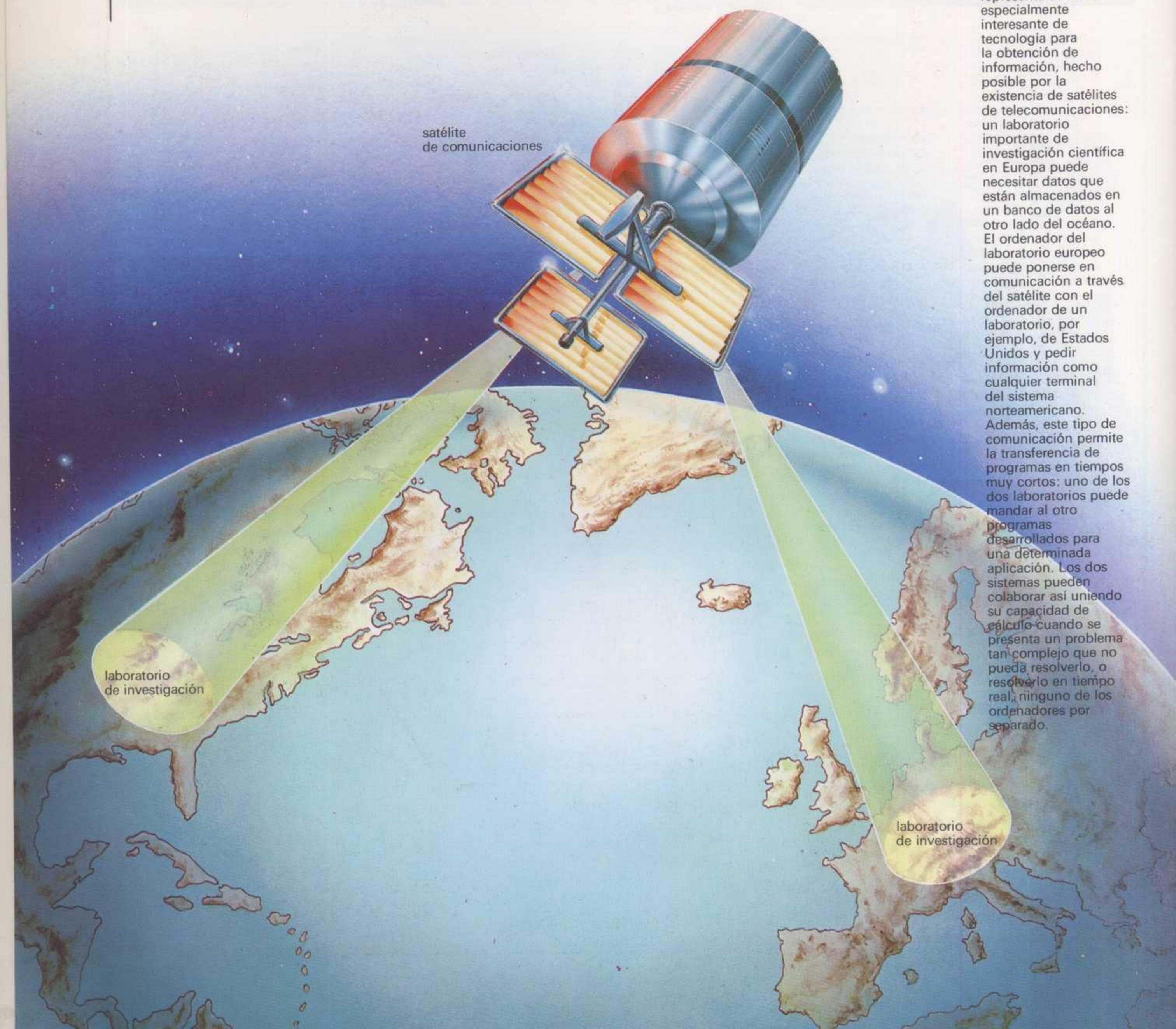
El sistema Dewey, por ser decimal, puede adaptarse fácilmente a otros tipos de información, y muchas empresas y entidades oficiales han adoptado variantes para

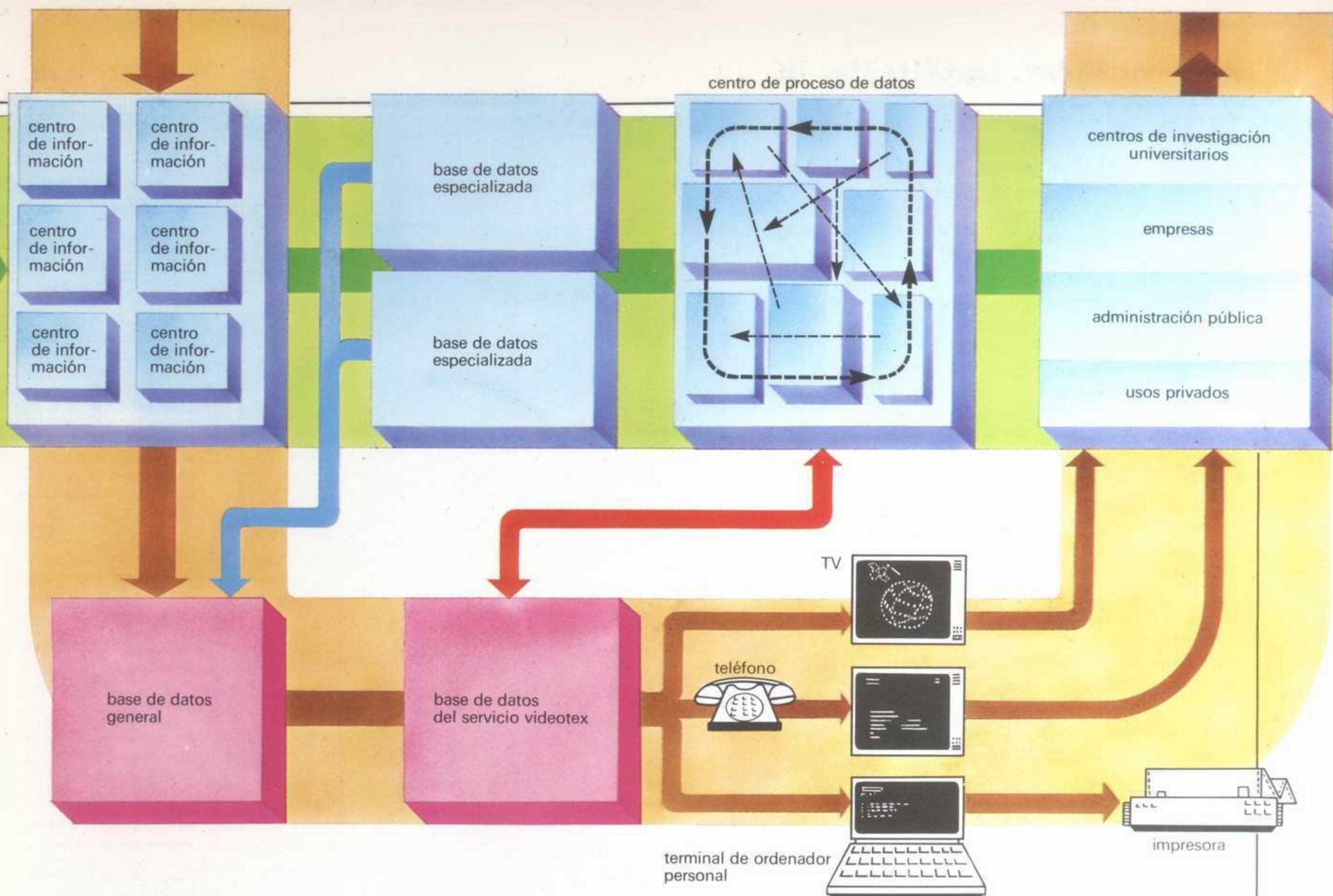
La ilustración representa un caso especialmente interesante de tecnología para la obtención de información, hecho posible por la existencia de satélites de telecomunicaciones: un laboratorio importante de investigación científica en Europa puede necesitar datos que están almacenados en un banco de datos al otro lado del océano. El ordenador del laboratorio europeo puede ponerse en comunicación a través del satélite con el ordenador de un laboratorio, por ejemplo, de Estados Unidos y pedir información como cualquier terminal del sistema norteamericano. Además, este tipo de comunicación permite la transferencia de programas en tiempos muy cortos: uno de los dos laboratorios puede mandar al otro programas desarrollados para una determinada aplicación. Los dos sistemas pueden colaborar así uniendo su capacidad de cálculo cuando se presenta un problema tan complejo que no pueda resolverlo, o resolverlo en tiempo real, ninguno de los ordenadores por separado.

satélite
de comunicaciones

laboratorio
de investigación

laboratorio
de investigación





sus sistemas de archivo y búsqueda de datos. No obstante, existen otros muchos sistemas de clasificación, algunos de los cuales se tratan en la voz "Biblioteca" de esta obra.

Bases de datos de ordenador Guardar información en la memoria de un ordenador es una forma muy eficaz de almacenarla y recuperarla. Este sistema se conoce con el nombre de *base de datos* (en inglés *data base*) o de *banco de datos*. Consideremos los datos que reflejan las actividades de búsqueda de una compañía petrolífera: cada perforación produce centenares de páginas de informes geológicos, de la inversión realizada, cartas de los técnicos, pedidos de material, etc. Cada documento se registra de forma adecuada para que lo pueda entender un ordenador y almacenarlo en su memoria, donde formará parte de la base de datos. La base de datos se tiene que organizar de forma que permita una recuperación rápida de la información. En muchas bases de datos grandes se puede obtener cualquier documento buscando únicamente un nombre o un término, llamado *palabra clave*. Este sistema de búsqueda es simple, pero no es el más adecuado para las bases de datos de tipo técnico, que tienen muchas palabras parecidas y una gran cantidad de datos numéricos. A menudo se pueden recuperar los documentos con una combinación de referencias: por ejemplo, se pide al ordenador que localice todos los documentos poste-

riores a junio de 1973 donde se cite un determinado pozo de petróleo y un determinado ingeniero.

Normalmente, aunque no siempre, el material que se guarda en la memoria del ordenador se archiva también en forma gráfica. La indicación que proporciona el ordenador se utiliza para buscar el documento en papel con la información deseada. Algunas bases de datos grandes contienen el registro completo del texto del documento, con lo que se puede imprimir en papel cada vez que se necesite una copia.

Actualmente existen bases de datos especializadas en el almacenamiento y recuperación de resultados de investigaciones técnicas y científicas, especialmente en Química e Ingeniería. Se han realizado bases de datos de ordenador también para abogados, físicos, comerciantes y otros especialistas. Muchas bibliotecas tienen ya ordenadores conectados a distintos archivos y son cada vez más las personas que tienen un ordenador en la oficina o en su domicilio con el que pueden acceder a los bancos de datos por medio de la línea telefónica. También se está extendiendo el uso de programas que permiten la gestión de bases de datos para su uso en pequeños ordenadores personales.

La información se produce en innumerables lugares: en los laboratorios de investigación, en las universidades, en las empresas, en las oficinas, en los tribunales de justicia, en los estudios profesionales, etc. Se puede encontrar información en periódicos, libros, horario de trenes y aviones, publicidad de todas las empresas, archivos de magistratura, de policía, de seguros, de bancos, etc. El problema común es conseguir identificar y recuperar la información necesaria

entre el mar de informaciones producidas. Los nuevos servicios telemáticos, la conexión de ordenadores de redes, el videotex, que permite el acceso a bases de datos a través de la línea telefónica reproduciendo las consultas en un televisor, son respuestas al problema de la recuperación eficaz de la información. Abajo, una "página" de introducción del horario de trenes como aparece en la pantalla de televisión en color en las pruebas de servicio público italiano de videotex.



Véase **Banco de datos; Biblioteca; Datos, base de; Microordenador; Ordenador; Telemática**

Información, teoría de la

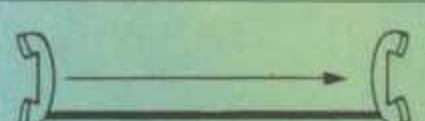
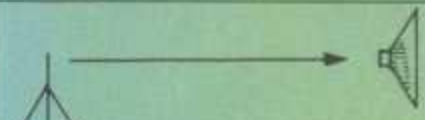
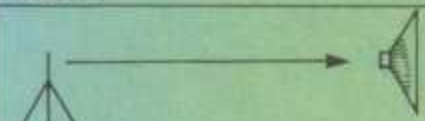
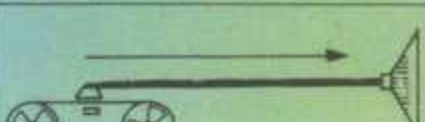
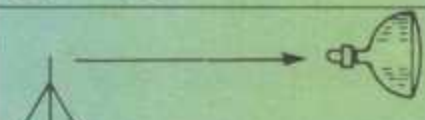
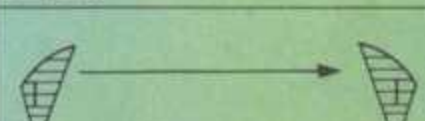
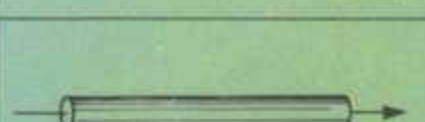
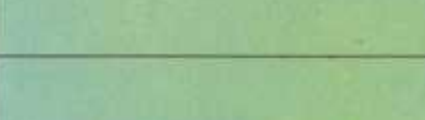

El juego de las veinte preguntas es un pasatiempo —conocido también con el nombre de "animal, vegetal o mineral"— en el que los jugadores intentan adivinar la identidad de un objeto haciendo preguntas cuya respuesta puede ser un sí o un no. La estrategia del juego consiste en formular preguntas que dividan el mundo en dos partes distintas, haciendo divisiones cada vez más pequeñas. Por ejemplo, la pregunta "¿Es un ser vivo?" dividirá el mundo en "seres animados" y "cosas inanimadas". Si la respuesta es sí, otro jugador podrá preguntar "¿Es un ser humano?" o "¿Es un animal?", y así sucesivamente. Este juego también es interesante para los matemáticos porque ilustra de forma simple muchas características de una parte de la Matemática, la *teoría de la información*.

Información y significado La teoría de la información comenzó a ser formulada en 1948 por un científico, Claude Shannon, con su artículo "Teoría matemática de la comunicación". Shannon demostraba allí la existencia de leyes naturales que regulan el funcionamiento de los sistemas contruidos por los ingenieros para la comunicación y el proceso de información —como teléfonos, televisores, satélites de comunicación— así como la posibilidad de describir matemáticamente los sistemas de transmisión de información.

La idea de Shannon afecta sólo a un significado de la palabra *información* bastante distinto del que se utiliza normalmente, pero que es preciso y riguroso. El número de mensajes que se pueden transmitir por un determinado medio es muy elevado: para Shannon, la cantidad de información que tiene un mensaje depende de la probabilidad de que se reciba. Si una fuente de información proporciona siempre el mismo mensaje, su capacidad de información es nula: un reloj parado siempre nos dice lo mismo y su contenido informativo es nulo. En el sentido que le da Shannon, la información afecta al reconocimiento del mensaje. La información que se obtiene de la frase "el perro es azul" no está en el color ni en la especie de animal, sino en las palabras "perro" y "azul", que no relacionan el color con la especie de la que se trata, una vez entendido que se habla realmente del "color de un cuadrúpedo."

Respecto al juego de las veinte preguntas, la información no es la respuesta, sino la serie de preguntas que utilizan los jugadores para descubrir el significado de la información.

Secuencia de elecciones Todos los mensajes se pueden ver como secuencia de elecciones. La elección entre dos opciones, como en las preguntas del juego, es la más simple. Cuando se conocen las preguntas y su orden, es suficiente escribir las respuestas (sí, no, no, sí...) para llegar a entender lo que saben los jugadores sobre la identidad de un objeto. Si se sustituye el "sí" por el número 1 y el "no"

canal		ancho de banda del canal (hertz)	capacidad del canal (bits por segundo)
hilo telefónico (palabra)		3.000	60.000
radio AM		10.000	80.000
radio FM		200.000	
cinta de alta fidelidad (Hi F)		15.000	250.000
televisión comercial		6 millones	90 millones
sistema de transmisión de microondas (1.200 canales telefónicos)		20 millones	72 millones
sistema con cable coaxial (11.000 canales telefónicos)		67 millones	648 millones
sistema con guía-onda milimétrica (250.000 canales telefónicos)		70.000 millones	15.000 millones
hipotético sistema láser		10 billones	100.000 millones

El esquema superior de la página siguiente representa los elementos esenciales de cualquier sistema de comunicación, en la forma indicada por Shannon y que ha sido la base de la moderna teoría de la información. En sus trabajos, Shannon se ocupó de forma especial del canal, elemento central del sistema de comunicación, buscando una forma de definir su *capacidad*, es decir, la cantidad de información que puede viajar por él. La definición matemática de la información y de la cantidad de información ha sido un paso esencial para la resolución del problema. La unidad de medida fundamental de la información es el *bit*, cantidad de información proporcionada por la contestación a una pregunta que admita sólo dos respuestas (del tipo sí/no) equiprobables. Como puede verse en la tabla de la izquierda, la capacidad del canal está expresada en *bits* por segundo.

por el 0, el mismo mensaje se puede expresar en código binario, en la forma "1001..."

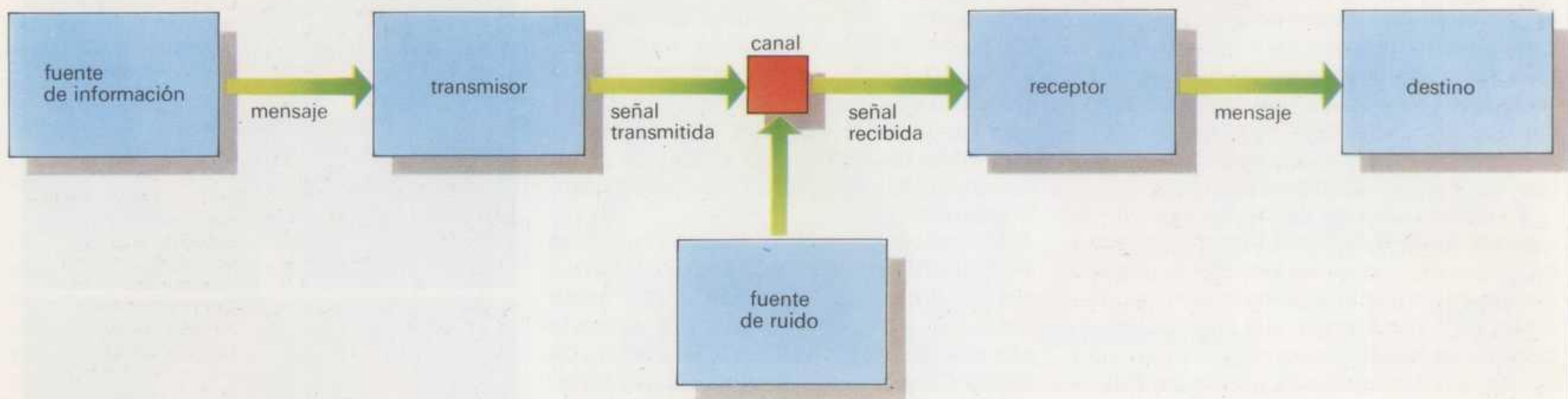
Cada cifra contiene una cantidad elemental de información y recibe el nombre de *bit* (contracción inglesa de *Binary digit*, "dígito binario"). Por tanto, un *bit* es la cantidad de información que comunica la contestación a una pregunta que admite como respuestas, con la misma probabilidad, "sí" o "no."

En un juego de treinta preguntas, el número de *bits* necesario para conocer la incógnita será seguramente 30. El número de opciones, si son todas igualmente probables, es d^{30} donde el exponente es el número de *bits* (cada *bit* tiene dos casos posibles, 0 y 1, por lo que la suma de todos los casos posibles es $2 \times 2 \times 2 \times \dots$ tantas veces como número de *bits* haya). Shannon expuso en su trabajo que el número de *bits* corresponde al logaritmo en base 2 del número de alternativas. En otras palabras: si el número de alternativas es n , los *bits* serán $\log_2 n$.

Entropía Una consecuencia importante de la teoría de la información ha sido la idea de la *entropía informativa*. En muchos casos las distintas opciones de la información no tienen todas la misma probabilidad. Por ejemplo, en el caso límite de que la persona que conoce la palabra en el juego la diga, la información contenida en la secuencia de unos y ceros (sí y no) será nula: todos conocen la respues-

ta y ya no tiene interés la serie de decisiones con la que se llega a la solución. Cuando las probabilidades son cero, entonces el sistema tiene entropía cero, y, al contrario, cuando las alternativas son todas igualmente probables, la entropía es máxima, es decir, es $\log_2 n$.

Sistemas más complejos Muchas fuentes de información son más complejas que el juego de nuestro ejemplo. Un lenguaje no se puede identificar con una secuencia de unos y ceros, pero uno de los grandes resultados de la teoría de la información ha sido el demostrar que es posible esta traducción. Se puede pensar cualquier frase como una serie de elecciones: se selecciona una palabra entre todas las posibles del idioma, cada una con una probabilidad, después se elige la segunda y así sucesivamente. Los experimentos han demostrado que la cantidad de información del español es aproximadamente de 1 *bit* por letra, muy superior a la del juego. En realidad, esta tasa tan alta de información se debe a la redundancia: una frase contiene más letras que las realmente necesarias para aislar su significado. Una frase como "l espñl es n idma redndnte" sigue siendo comprensible a pesar de todas las letras que faltan. Por este motivo se pueden entender dos personas en un ambiente ruidoso, aunque no perciban perfectamente todos los fonemas pronunciados. Con un principio parecido, los teóricos de la información han



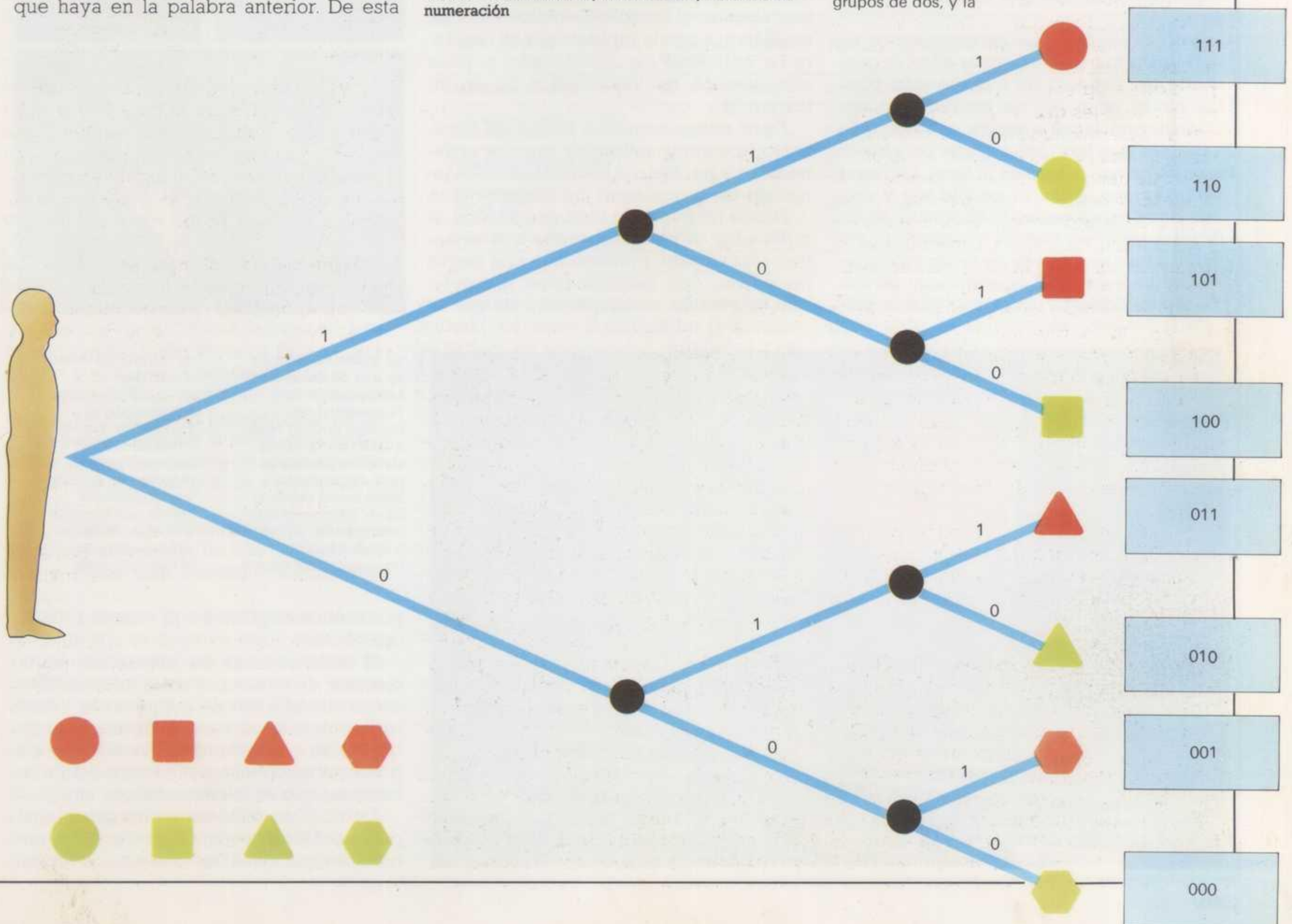
ideado códigos particulares que dan "redundancia" a la secuencia de ceros y unos y codifican las informaciones para ordenadores o telecomunicaciones, de forma que "ruidos" eventuales no destruyan la información. Una de las formas más simples de crear redundancia es repetir el mensaje dos o más veces, pero existen códigos más veloces y complejos que han demostrado ser muy útiles. Entre los códigos más utilizados están los de *control de paridad*, en los que al final de cada palabra, con un número de *bits* determinado, se añade un *bit* que será un cero o un uno dependiendo del número de ceros que haya en la palabra anterior. De esta

forma, un error en la transmisión que afecte a un único *bit* se puede detectar fácilmente. Para detectar errores que afecten a dos *bits*, existen códigos más complejos. En la era de la electrónica, cuando son cada vez más frecuentes los mensajes enviados por radio o por cable transformados antes en secuencias de ceros y unos, la teoría de la información proporciona los instrumentos necesarios para hacer más eficaz la codificación y transmisión de la información e impedir que se pierda en el ruido que afecta a todos los canales de comunicación.

Véase **Comunicación; Probabilidad; Sistemas de numeración**

Siempre se puede imaginar la respuesta a una pregunta como una serie de selecciones binarias, de respuestas sí o no, o de elecciones entre izquierda y derecha de un recorrido con bifurcaciones. Si tenemos ocho objetos distintos, como en el dibujo de abajo, cada uno de ellos se puede identificar con tres elecciones: la primera selecciona entre dos grupos de cuatro; la segunda, entre dos grupos de dos, y la

tercera elige un objeto entre dos. Cada elección se puede indicar con un número, 0 ó 1, y cada objeto se puede codificar por tanto con un número binario de tres cifras: las tres cifras (tres *bits* de información) codifican el recorrido por el que se puede llegar con elecciones sucesivas desde el punto de partida hasta el objeto.



Informática

Podemos definir la *Informática* como la ciencia del tratamiento de la información. Desde un punto de vista práctico, la Informática se dedica al estudio de los ordenadores. El vocablo español "Informática" deriva del francés "Informatique" y se corresponde con la denominación de origen anglosajón "Computer science".

Es difícil concebir cualquier aspecto de nuestra sociedad, y por tanto de nuestra propia vida, que no se vea de alguna forma afectado por la aparición de los ordenadores. Si hiciéramos una lista de las experiencias relacionadas con el ordenador en las que hemos participado, probablemente quedaríamos asombrados. Los ordenadores se utilizan para preparar las nóminas de las empresas, efectuar las reservas o adquirir los billetes para viajar en avión o tren, mantener actualizadas nuestras cuentas bancarias y llevar un control minucioso de nuestros impuestos sobre la renta. La enseñanza asistida por ordenador incide en nuestra forma de aprender. La planificación económica de un país sería imposible hoy sin el uso de los ordenadores. La conmutación de llamadas telefónicas, cuando las líneas están cargadas, es responsabilidad de un ordenador. Los hospitales y servicios médicos utilizan los ordenadores para analizar nuestra sangre, preparar historias clínicas y hasta proteger nuestras vidas, y en las unidades de vigilancia intensiva son elementos indispensables.

Uno de los más apasionantes logros de la Humanidad en los últimos años, la conquista del espacio, no hubiera sido posible sin el concurso de los ordenadores. Consideremos, por ejemplo, el número de variables que hay que manejar para intentar colocar un cohete en la Luna. La Tierra está girando sobre su propio eje y moviéndose en el espacio. El viento es un factor a tener en cuenta, y cuando el cohete se mueve a través de la atmósfera terrestre su velocidad puede variar de forma significativa. La Luna es un blanco mó-

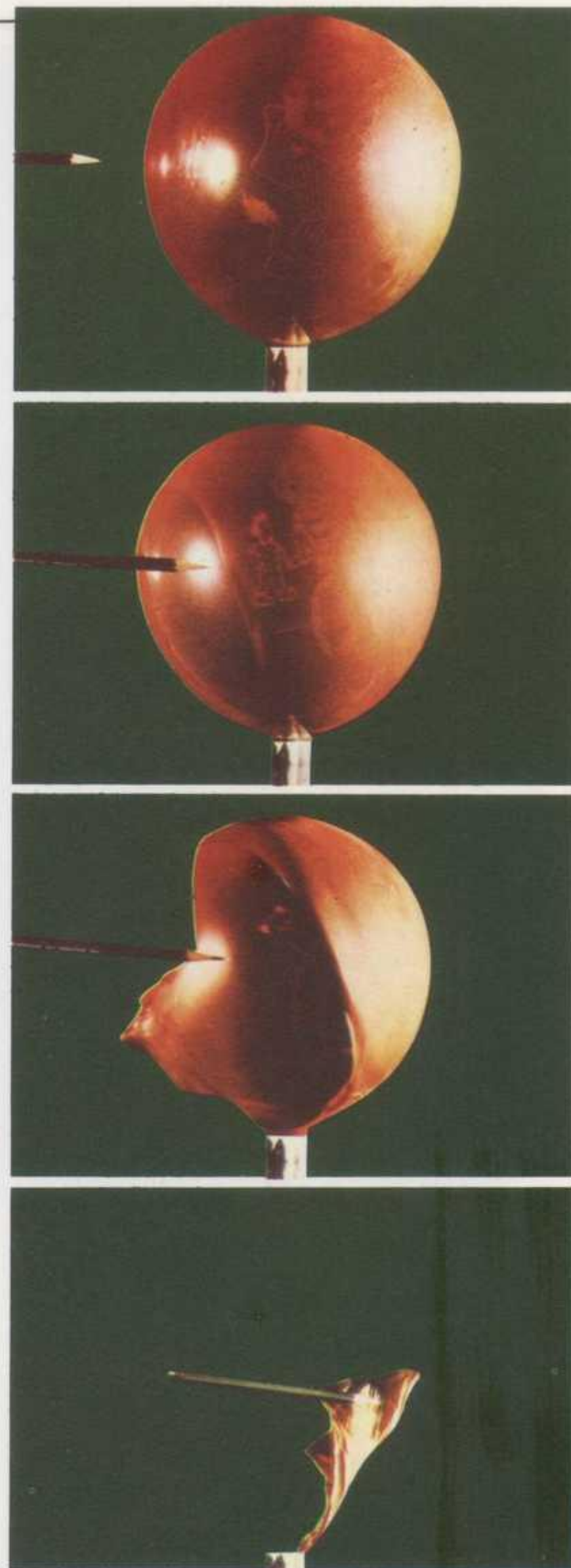
vil. Incluso hay que tomar en consideración la atracción gravitatoria del Sol y de los planetas. El problema es, pues, complejo, requiriendo una gran velocidad de cálculo para obtener información sobre la que basar las decisiones; el ser humano no puede manejar sin la ayuda de ordenadores todas esas variables con suficiente rapidez.

El control del tráfico aéreo en un gran aeropuerto supone también un problema arduo. Podemos visualizar cada avión como un punto en el espacio localizado por sus coordenadas y su dirección de vuelo. Cuando hay pocos aviones no se plantea ningún problema, pero ¿qué sucede si hay un par de docenas de aviones esperando instrucciones para el aterrizaje y otros tantos para el despegue? Aunque las decisiones humanas son todavía esenciales en el control del tráfico aéreo, el ordenador se revela como una ayuda eficazísima del controlador aéreo, alertándole de situaciones potencialmente peligrosas antes de que sea demasiado tarde.

Aunque ninguna de esas situaciones es controlada enteramente por el hombre, no hemos de perder de vista que las ecuaciones y estrategias necesarias para realizar un vuelo espacial o el control del tráfico aéreo sí han sido realizadas por él. El ordenador no hace realmente nada que no haya sido antes programado por el ser humano. Lo que sucede es que, debido a sus limitaciones, el hombre no puede efectuar estas tareas con la rapidez que se requiere. La "habilidad" de un ordenador es pues una cuestión de velocidad y no de inteligencia.

Estos pocos ejemplos ponen de manifiesto la enorme influencia que los ordenadores y por tanto la Informática están teniendo en la sociedad de nuestros días.

Desde un punto de vista pragmático, el ordenador se ha incorporado a la sociedad plenamente, produciendo una nueva revolución que denominamos la *revolución informática*, con implicaciones que no



Kodansha



Novosti

La aventura espacial es una de las típicas tareas que la Humanidad no hubiese podido llevar a cabo sin la ayuda de los ordenadores que, tanto desde tierra como desde la nave, intercambiaban información. Junto a estas líneas, un aspecto del centro

de control de vuelos espaciales de la URSS. Arriba, espectaculares fotografías que han sido tomadas con cámaras que disparan en periodos tremendamente cortos que son, sin embargo, miles de veces superiores al nanosegundo.

por menos explícitas son menos profundas.

El ordenador se ha convertido en el ejecutor de tareas rutinarias intelectuales, como sucedió con la máquina de vapor respecto de las tareas mecánicas. El hombre se ve cada vez más liberado de los procesos no creativos por esta prótesis intelectual que es la computadora.

En su libro *2081, un futuro posible*, el profesor O'Neill señala cuáles son las tecnologías que van a transformar el próximo

siglo. Estas tecnologías impulsoras del cambio son: los ordenadores, la automatización, las colonias en el espacio, la energía y las comunicaciones.

Los ordenadores se han desarrollado de un modo muy distinto y están afectando a nuestras vidas de manera muy diferente a como vaticinaron sus creadores. Un dato verdaderamente revelador que demuestra la importancia creciente que en el mundo están cobrando los ordenadores: en 1980 la industria mundial de la informática vendió unos cinco billones de pesetas, que la sitúan en tercer lugar detrás del petróleo y del automóvil.

La característica básica de los ordenadores es que pueden efectuar ciertas operaciones simples de forma extraordinariamente rápida. Para poder evaluar la estructura de un ordenador debemos tener un conocimiento de cuán extraordinariamente veloces son. Así, un ordenador normal, de los usuales hoy día, realiza 10 millones de sumas en 1 segundo, así como otra serie de operaciones aritméticas (por ejemplo, multiplicaciones, comparaciones numéricas, etc). De esta forma es posible deducir fácilmente que procesos relativamente complejos se pueden realizar en un ordenador en unas pocas milésimas de segundo.

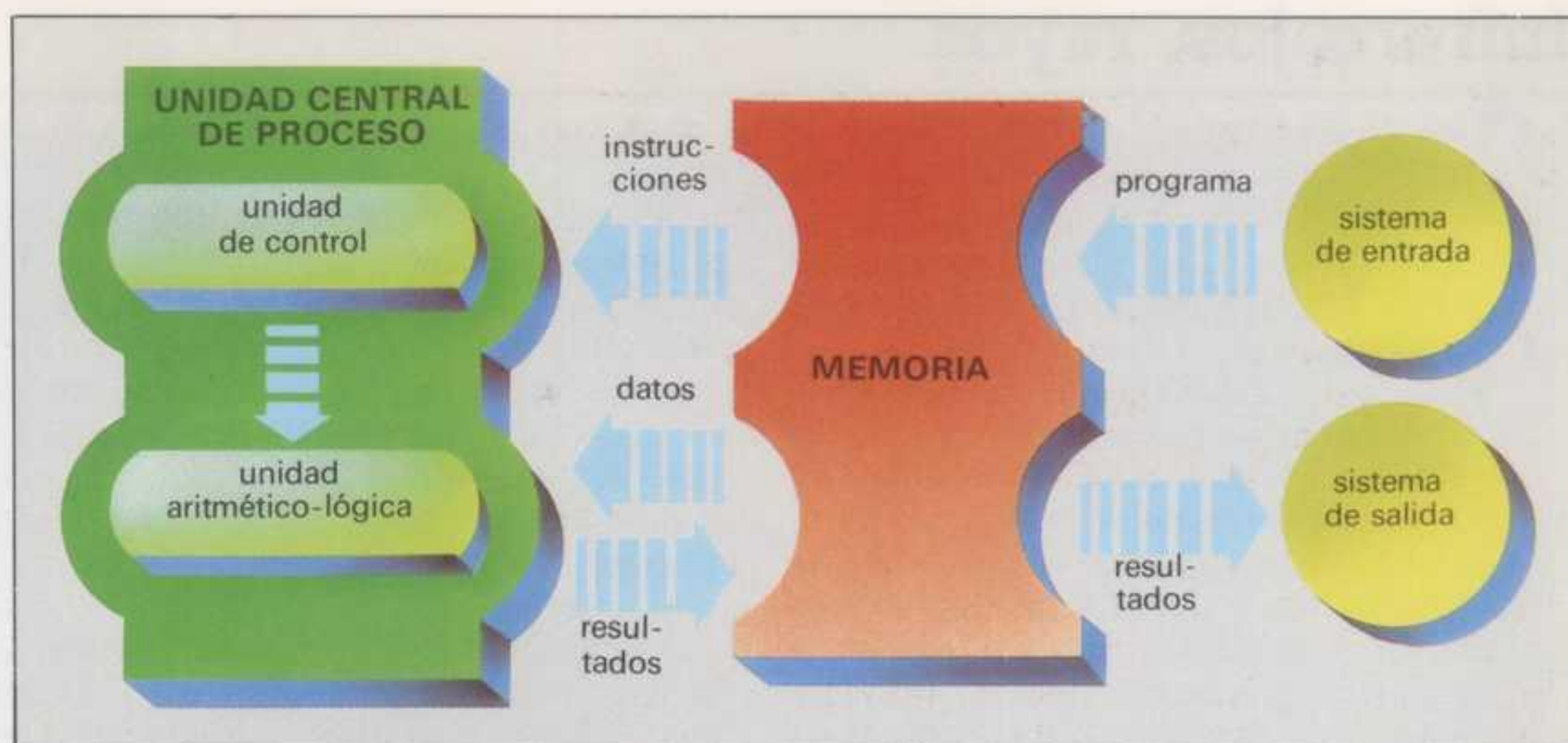
R. W. Hamming ha tomado otro enfoque para poner de manifiesto la velocidad de los ordenadores. Consiste en considerar la evolución en el transcurso del tiempo de diversas actividades o hechos en función del estado tecnológico del momento. De la tabla adjunta se deduce que el aumento en dos áreas específicas: la potencia explosiva y la velocidad de cálculo han sido enormes.

Comparación de los avances tecnológicos Si hubiera habido en los últimos cien años el mismo aumento en la velocidad del transporte que el que ha existido en la velocidad de cálculo, podríamos viajar de Madrid a Los Angeles en 0,002 segundos o ir de la Tierra a la Luna en 1 segundo, o al Sol en 6,5 minutos. Esto es: ¡más rápido que la velocidad de la luz!

Es importante observar que grandes cambios en magnitud pueden, y de hecho así lo hacen, cambiar la naturaleza básica de un problema, y esto es precisamente lo que ha pasado con la velocidad de cálculo.

El objetivo de la organización de un ordenador es controlar de una manera efectiva y eficaz esta enorme velocidad de cálculo.

Para ver que la velocidad de cálculo por sí misma es de poco valor, consideremos la ventaja que supondría disponer de un calculador de mesa que trabaja "instantáneamente"; esto es, los resultados aparecen en el momento en que, por ejemplo, se pulsan las teclas de sumar o multiplicar (como sucede con las modernas calculadoras electrónicas de bolsillo), frente a una de tipo electromecánica, que tarda cierto tiempo en hacer la operación. Un análisis de la situación refleja que la ma-



Unidad de entrada. Es el sistema mediante el cual se introduce en el ordenador los datos y las instrucciones que forman el programa que habrá de ejecutar éste. Pueden ser de varios tipos: teclados con pantalla, lectora de fichas perforadas, etc. Sin embargo, sea cual sea su sistema, siempre es el instrumento de comunicación entre el hombre y la máquina.

Unidad central de proceso. Es el "corazón" del ordenador. Su misión consiste en interpretar y ejecutar todas las instrucciones contenidas en el programa. A su vez, está compuesta por dos elementos bien diferenciados: la unidad aritmético-lógica y la unidad de control.

Unidad de control. Es la encargada de interpretar y seleccionar las distintas instrucciones que forman el programa y que se encuentran almacenadas en la memoria. Este sistema recibe, de entre los códigos introducidos en la memoria, aquellos que significan instrucciones, los interpreta y genera las señales que envía a las otras unidades de la máquina que son las encargadas de ejecutarlos.

Memoria. Es la parte del ordenador en la que se introducen los datos e instrucciones que forman el programa. De ella extrae la unidad central de proceso los elementos que necesita para ejecutar el mismo, y deposita los datos intermedios que se generan al ejecutar el programa. Una vez finalizado éste, quedan almacenados en la memoria los resultados, que son extraídos por la unidad de salida.

Unidad aritmético-lógica. Es la que lleva a cabo todos los cálculos y comparaciones (decisiones) que forman el programa. Durante toda la elaboración del mismo, fluyen entre esta unidad y la memoria, los diferentes datos, indicándole la unidad de control el tipo de operación a realizar con estos datos.

Unidad de salida. Es un dispositivo similar a la unidad de entrada, ya que también sirve de comunicación entre el hombre y la máquina. Toma de la memoria la información codificada y la convierte en un formato que, o bien puede ser directamente interpretado por el hombre, o trasladado a otra máquina de procesamiento, como los discos o cintas magnéticas.

Area	Tiempos antiguos	Factor de aumento en:					
		1870	1950	1970	2.000 años	100 años	20 años
Transporte (km/día)	65	325	9.750	58.500	900	175	6
Trabajo para realizar un libro (hombres/hora)	86.400	10	1	0,5	175.000	20	2
Expectativa de vida (años)	22	45	66	67	3,05	1,48	1,07
Potencia explosiva (tm de TNT)	0,0005	0,5	10 ⁶	10 ⁸	2 × 10 ¹¹	10 ⁸	10 ²
Velocidad de cálculo	0,005	0,005	40	10 ⁷	2 × 10 ⁹	2 × 10 ⁹	250.000

yor cantidad de tiempo se emplea en introducir los datos al calculador (pulsando las teclas), en registrar los resultados y en pensar qué vamos a hacer a continuación.

De este ejemplo tan simple concluimos que debemos hacer al menos dos cosas para poder beneficiarnos del uso de velocidades de cálculo muy grandes: en primer lugar, debemos de disponer las cosas de manera que el elemento de cálculo (o unidad aritmética) pueda encontrar los números que utiliza, así como grabar los resultados que obtiene, muy rápidamente. Es decir, no es admisible que alguien vaya realizando estas operaciones manualmente; en segundo lugar, debe tener las instrucciones en cuanto a la tarea que tiene que realizar en una forma que pueda interpretarlas muy rápidamente. ¡Estaríamos malgastando inútilmente la velocidad de cálculo si se espera que alguien vaya pulsando botones!

De estas dos cuestiones se ocupa el estudio del *hardware* y del *software*. La primera de estas palabras se refiere a la estructura física de la máquina (ordenador)

como entidad material, y la segunda significa todo el entorno de programación que es necesario para hacer operativo a uno de estos dispositivos.

Con todo, lo más fundamental que debe tenerse presente es que los ordenadores actuales tienen apenas 40 años de existencia. En lo que resta de siglo vamos a asistir a cambios profundos que harán que la mayor parte de lo que hoy se diga llegará a parecernos trivial. Por tanto, la conclusión final es que no debemos limitarnos al conocimiento del estado de los ordenadores en el presente sino a entender cómo estas máquinas cambiarán en el futuro de forma drástica e inexorable nuestra forma de vivir.

Véase Banco de datos; Calculadora de bolsillo; Datos, base de; Datos, procesamiento de; Fichero de datos; Juegos electrónicos; Microordenador; Miniordenador; Ordenador, arquitectura de; Ordenador, lenguaje de; Ordenador, memoria de; Ordenador, periféricos; Ordenador, programas; Ordenador, terminal de; Ordenador, unidad central de proceso; Ordenador Josephson; Ordenador personal; Telemática

Infrarrojos, rayos

Cuando se siente el calor del Sol en la cara, se suele pensar erróneamente que procede de la luz que vemos. En realidad, lo que produce el calor es la componente infrarroja —que es invisible— de la radiación solar.

Todos los objetos que tengan una temperatura superior al cero absoluto, entre los que está el Sol, emiten radiación infrarroja, conocida también como *radiación térmica*. La transmisión ondulatoria de energía en forma de campos magnéticos y eléctricos variables, llamada *radiación electromagnética*, se caracteriza por la longitud de onda, formando el espectro electromagnético. La *radiación infrarroja* es una radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre 1 milímetro y $7,5 \times 10^{-4}$ milímetros. Estas longitudes de onda son más cortas que las correspondientes a las microondas, y más

largas que las correspondientes a la luz visible.

El término *infrarrojo* significa que está por debajo del rojo en el espectro, debido a que el primer espectro conocido fue el de la luz visible y, dentro de éste, la longitud de onda del rojo es la mayor. La zona infrarroja del espectro está subdividida en infrarrojo lejano, medio y próximo, según su proximidad o lejanía a la luz roja en el espectro.

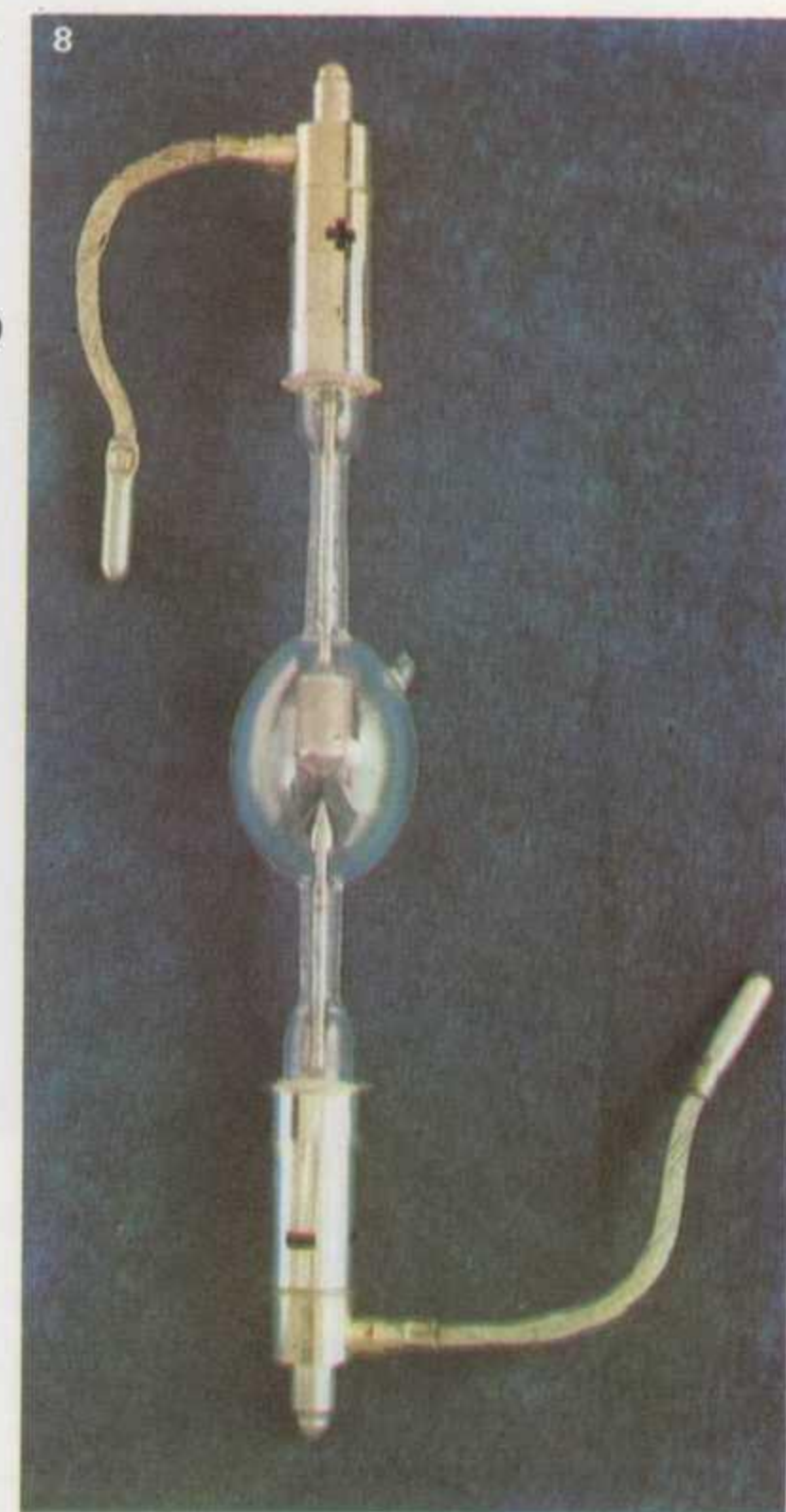
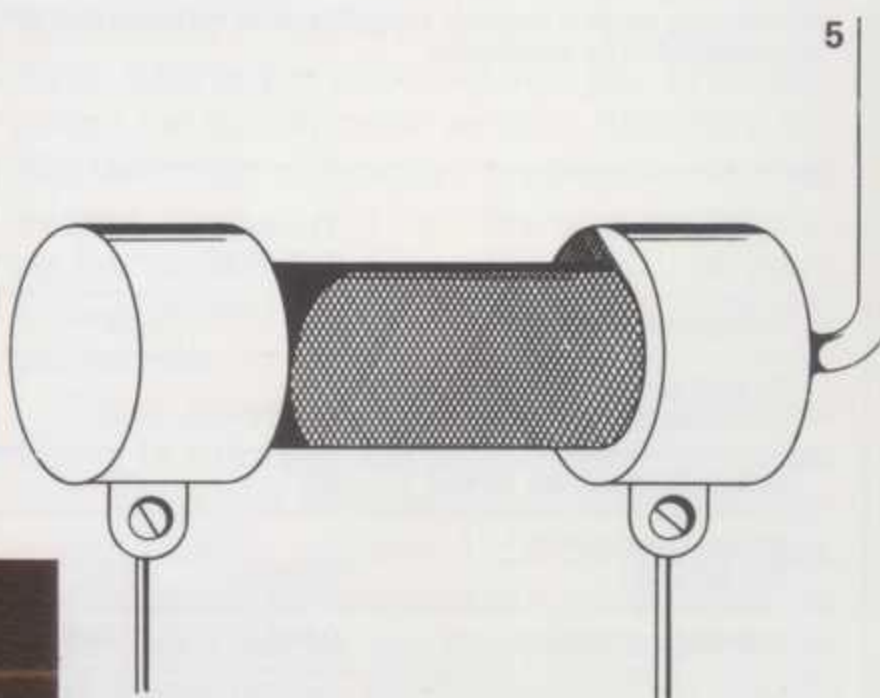
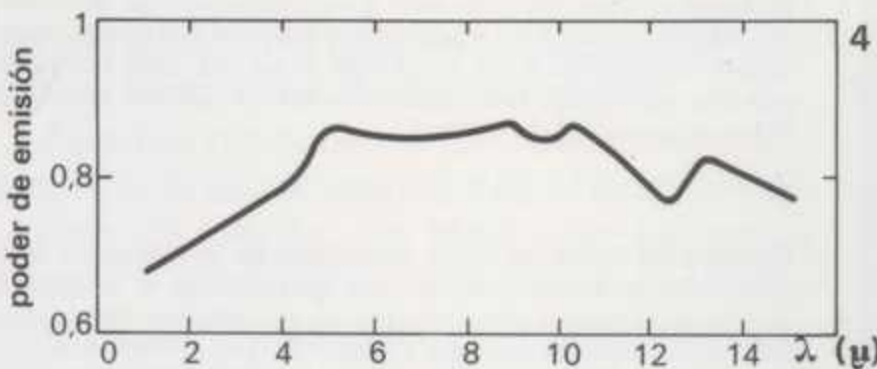
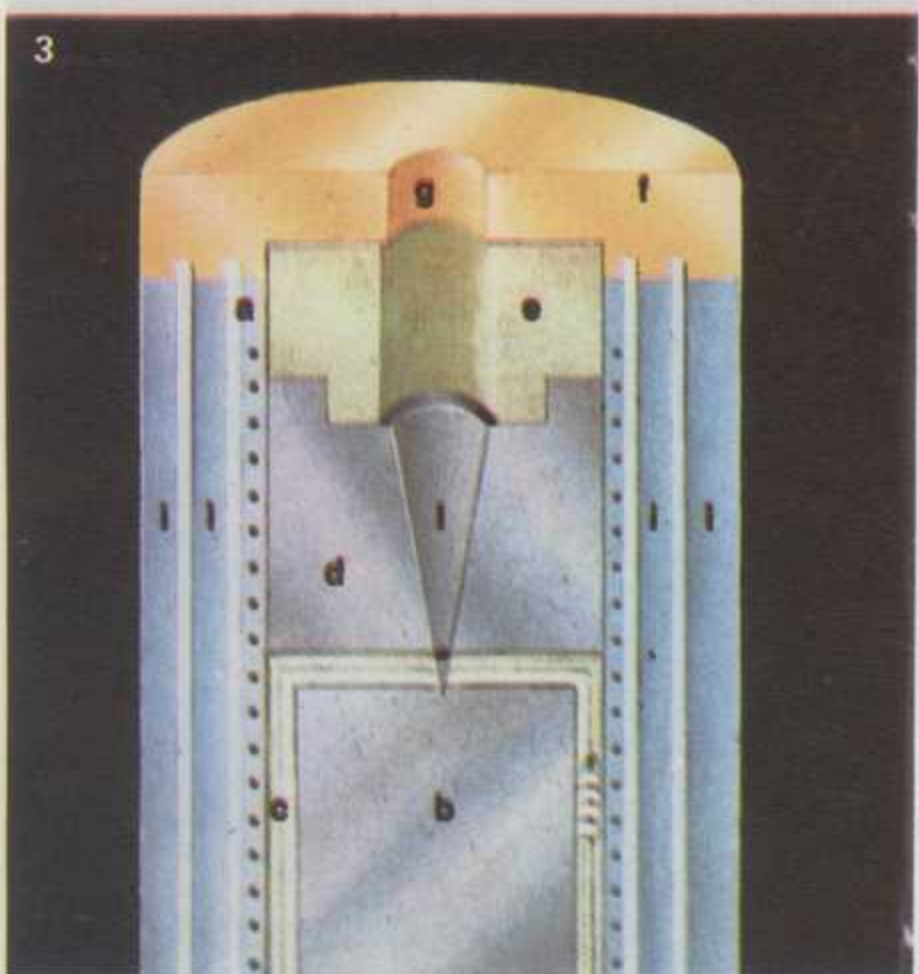
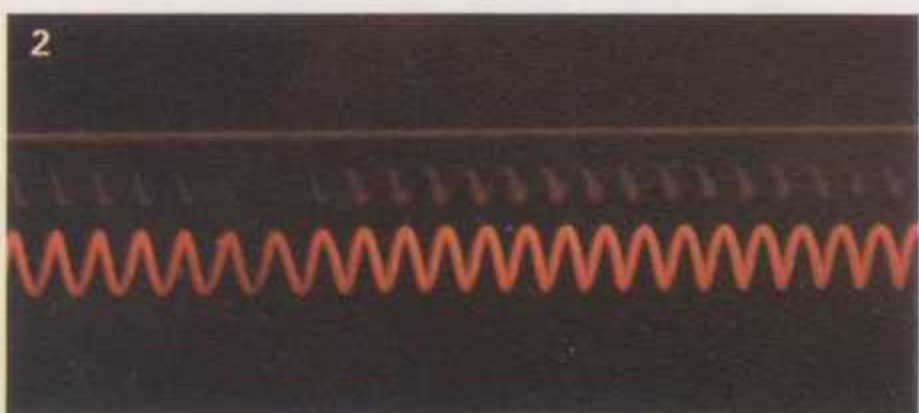
Descubrimiento de los rayos infrarrojos

Sir William Herschel, astrónomo inglés, descubrió en el año 1801 la existencia de la radiación infrarroja utilizando un prisma de vidrio para separar los componentes de la luz solar, en un espectro parecido a un arco iris. A continuación midió las temperaturas de las distintas bandas o colores presentes y comprobó que la mayor

parte del calor se detectaba en una zona que estaba fuera de la visible, justo al lado de la parte roja del espectro. Herschel intuyó así la existencia de una radiación invisible con características similares a las de la luz visible. A partir del hallazgo de Herschel se hicieron experimentos que confirmaron su teoría.

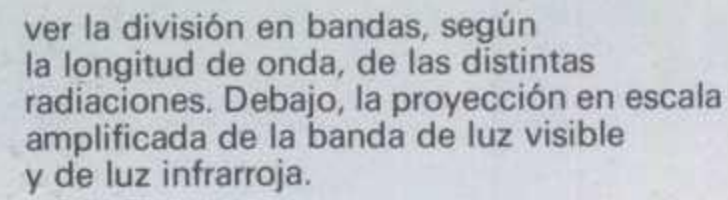
Usos de la radiación infrarroja

Los rayos infrarrojos penetran fácilmente en la materia calentándola y produciendo más calor que la luz visible. La detección de los rayos infrarrojos que emiten los objetos permite "ver" cosas que el ojo humano no percibe. La fotografía en infrarrojos puede, en algunos casos, compensar la ausencia o absorción de luz visible. Se pueden sacar fotos especiales en infrarrojos en la oscuridad total o en presencia de interferencias atmosféricas.



En la mitad inferior de esta página se representan, numerados, varios dispositivos para producir radiación infrarroja: 1) lámpara con filamento de tungsteno; 2) espiral de níquel-cromo en un tubo de cuarzo; 3) cuerpo negro para calibrar detectores de infrarrojos —a) recipiente cilíndrico calentado, b) cuerpo de acero con elevada inercia térmica, c) tubo de cuarzo, d) cuerpo metálico con cavidad cónica que se

mantiene a la temperatura deseada, e) material aislante, f) pantalla de cierre, g) orificio de salida de la radiación, i) tubos concéntricos de níquel pulidos para aislamiento, j) termopar—; 4) curva de emisión de una fuente Globar (varilla de carburo de silicio sintetizado); 5) red de Welsbach; 6) lámpara de Nersnt (tubo de óxido de itrio y circonio); 7) llama del arco voltaico; 8) arco voltaico.



En el campo de la Medicina, la termografía permite detectar síntomas que de otra forma serían invisibles. Esta técnica posibilita la exploración del cuerpo humano para obtener un "plano térmico" de la persona bajo examen. En la termografía se pueden ver las zonas del cuerpo más calientes o más frías de lo normal, que son zonas con posibles problemas. Las termografías se utilizan también en el campo técnico para obtener las temperaturas alcanzadas en dispositivos mecánicos, permitiendo, por tanto, analizar sus distribuciones de temperatura. Los técnicos pueden estudiar de esta forma las zonas que van a soportar altas temperaturas o detectar defectos en el funcionamiento a través de los calentamientos que se producen en las partes mecánicas defectuosas.

Los radiómetros y otros tipos de sensores de infrarrojos detectan posiciones mi-

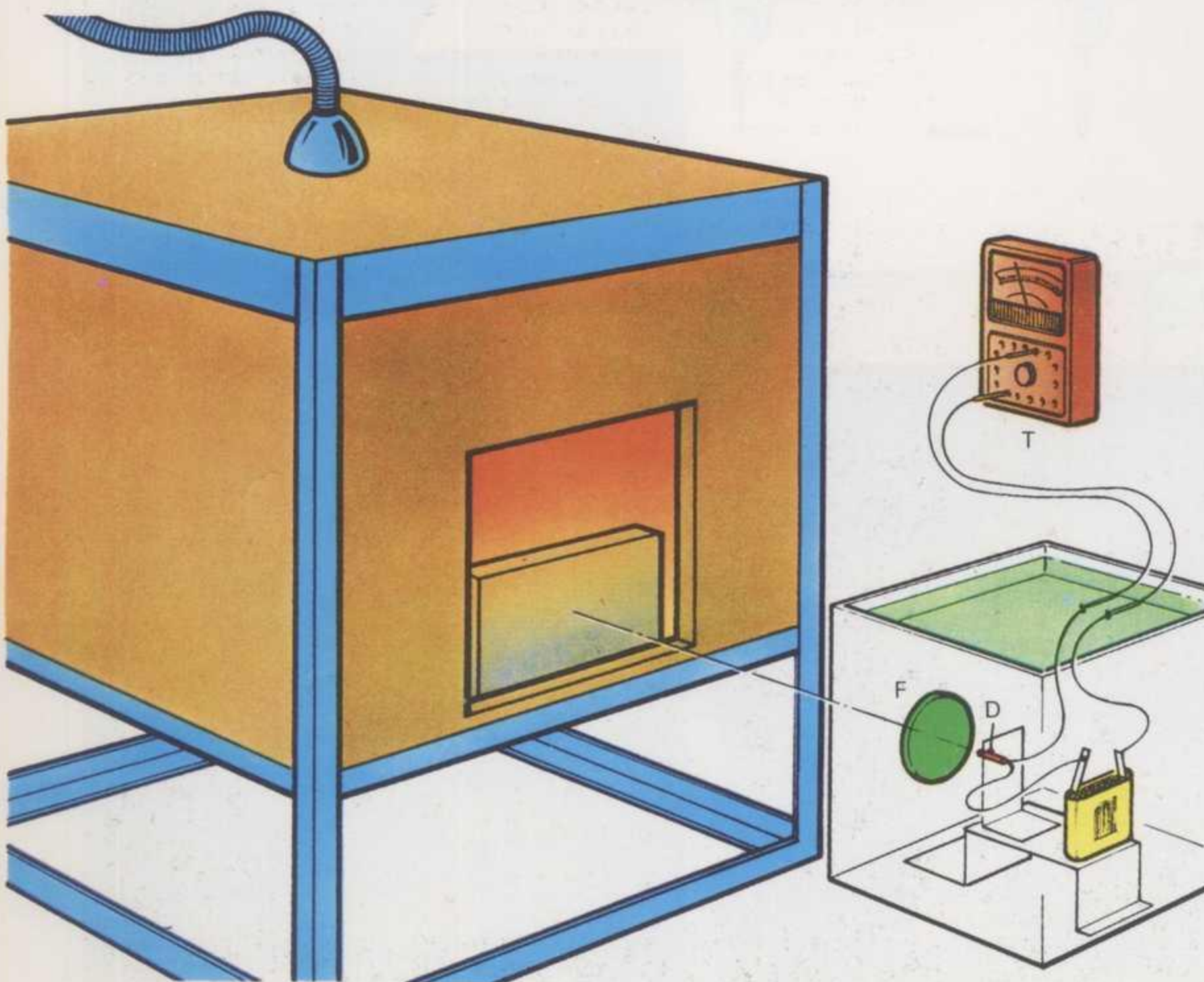
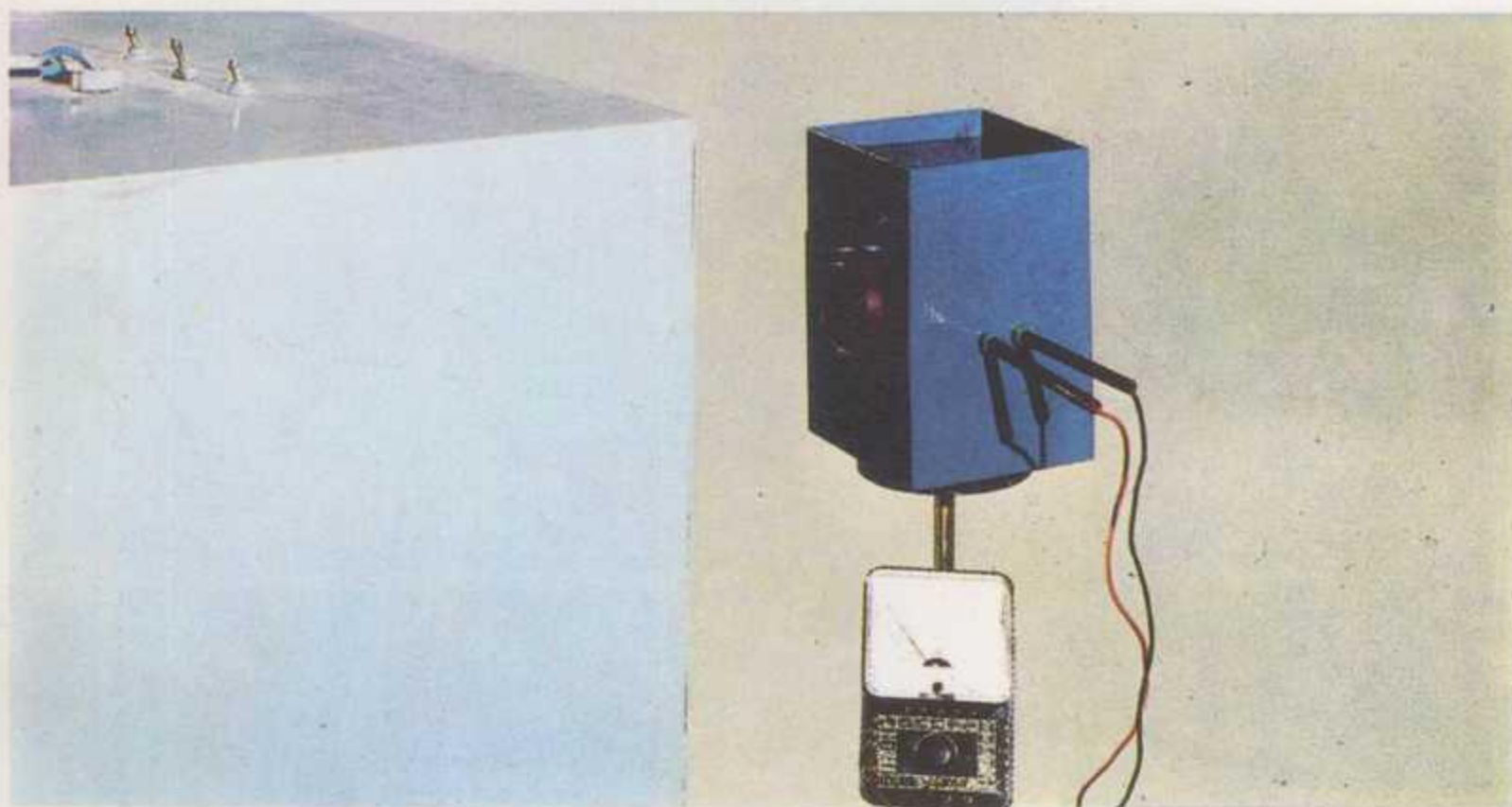
litares y guían los misiles a su objetivo. Se han lanzado también al espacio detectores de radiación infrarroja para buscar la que procede de fuentes lejanas. La espectroscopia infrarroja hace análisis tanto cuantitativos como cualitativos de una determinada sustancia. En esta técnica, la radiación infrarroja se hace pasar a través de una sustancia en un espectrofotómetro, aparato que tiene un dispositivo que subdivide la radiación en su espectro de frecuencias. El espectro obtenido depende de la cantidad de radiación de cada una de las frecuencias que absorba la sustancia. La estructura, el tipo de moléculas e incluso los átomos presentes en los materiales pueden identificarse a través de su espectro, ya que es distinto para cada material.

La radiación infrarroja se puede utilizar como fuente de calor, pero también como

método para medir o para ver. Los médicos utilizan tratamientos térmicos con infrarrojos para curar molestias musculares, como la artritis, o lesiones, como esguinces y desgarros.

Los científicos han explotado también el descubrimiento del láser para producir radiación infrarroja. El láser es un dispositivo que produce luz monocromática de intensidad alta que se puede dirigir en haces muy concentrados. Actualmente se ha conseguido un tipo láser que emite radiación infrarroja intensa.

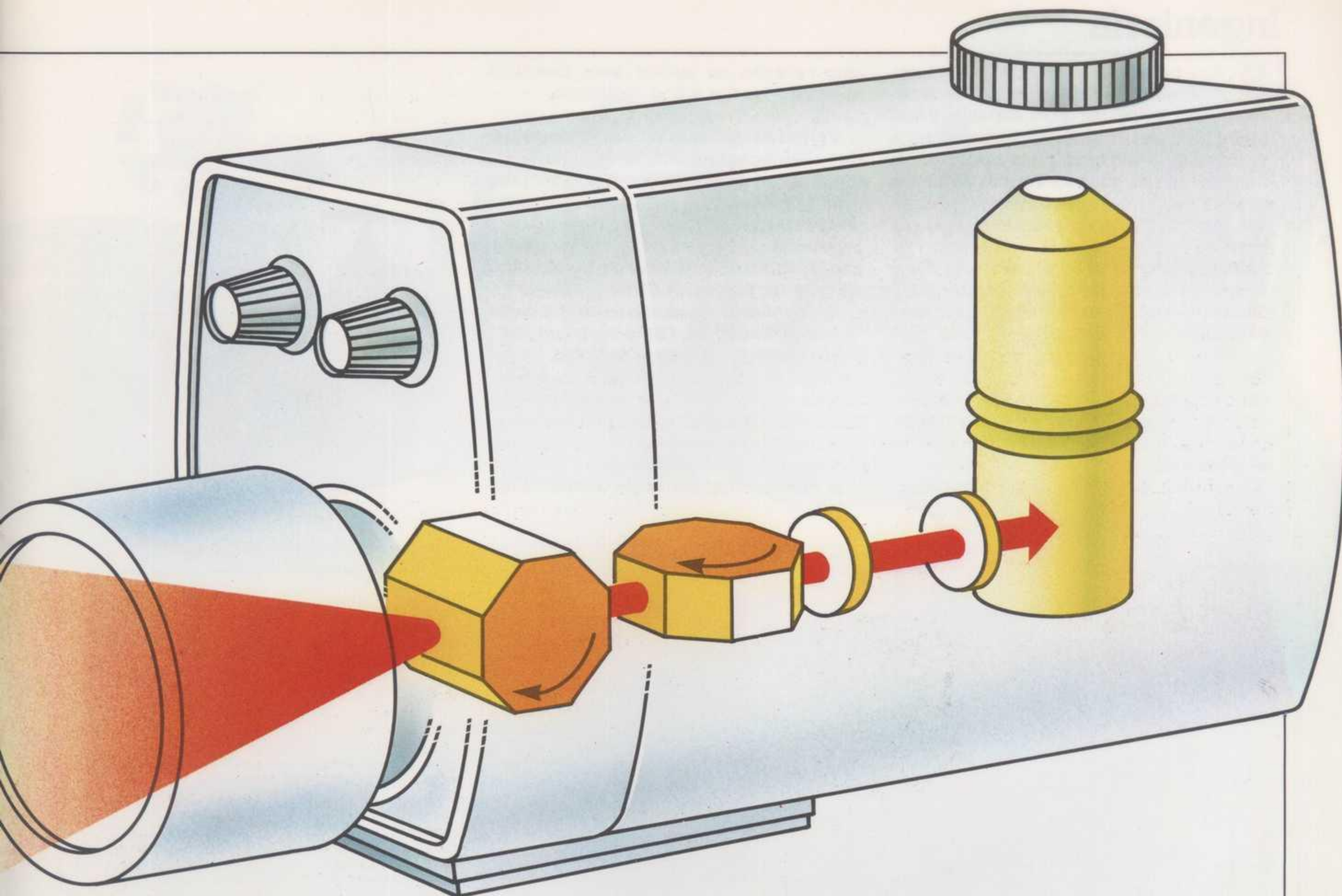
Véase **Electromagnetismo; Luz; Óptica**



Las dos imágenes de la izquierda corresponden a un experimento para medir diferencias de emisión de infrarrojo entre una placa de acero inoxidable y una placa cubierta de negro de humo. Arriba, esquema del experimento, debajo representación del procedimiento. Los aparatos necesarios son un horno (400°C), un recipiente metálico refrigerado, un fotodiodo, un filtro y un amperímetro. Se introduce en el horno la muestra de acero, y en el recipiente refrigerado, el fotodiodo D y un filtro intermedio F. Al abrir

la puerta del horno se lee la corriente de conducción T y con ella se obtiene la intensidad relativa de la radiación. Repitiendo el experimento con la placa cubierta de negro de humo se podrá ver un aumento de la corriente en el fotodiodo de hasta un factor 5. Esto significa que la placa de acero cubierta de negro de humo emite radiación infrarroja de intensidad 5 veces mayor. Aquí abajo, dispositivo portátil con el que se puede medir la temperatura de un cuerpo a través de su emisión de radiación infrarroja.





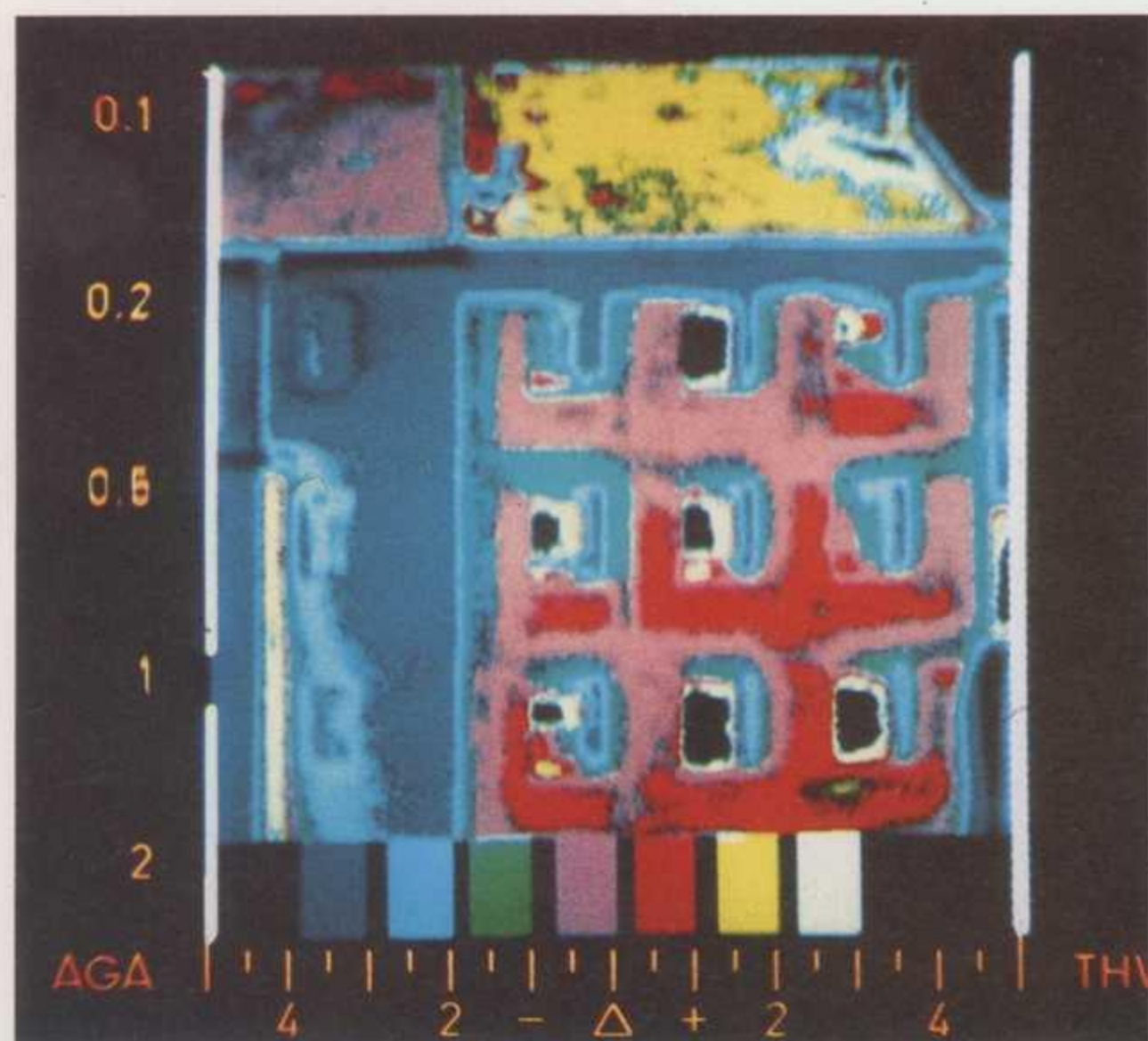
En el dibujo sobre estas líneas se ha esquematizado el principio de funcionamiento de una cámara de rayos infrarrojos para termografía. Los

elementos fundamentales son: la lente frontal, el sistema de enfoque y el elemento sensible. En rojo se ha señalado el recorrido de los rayos infrarrojos.

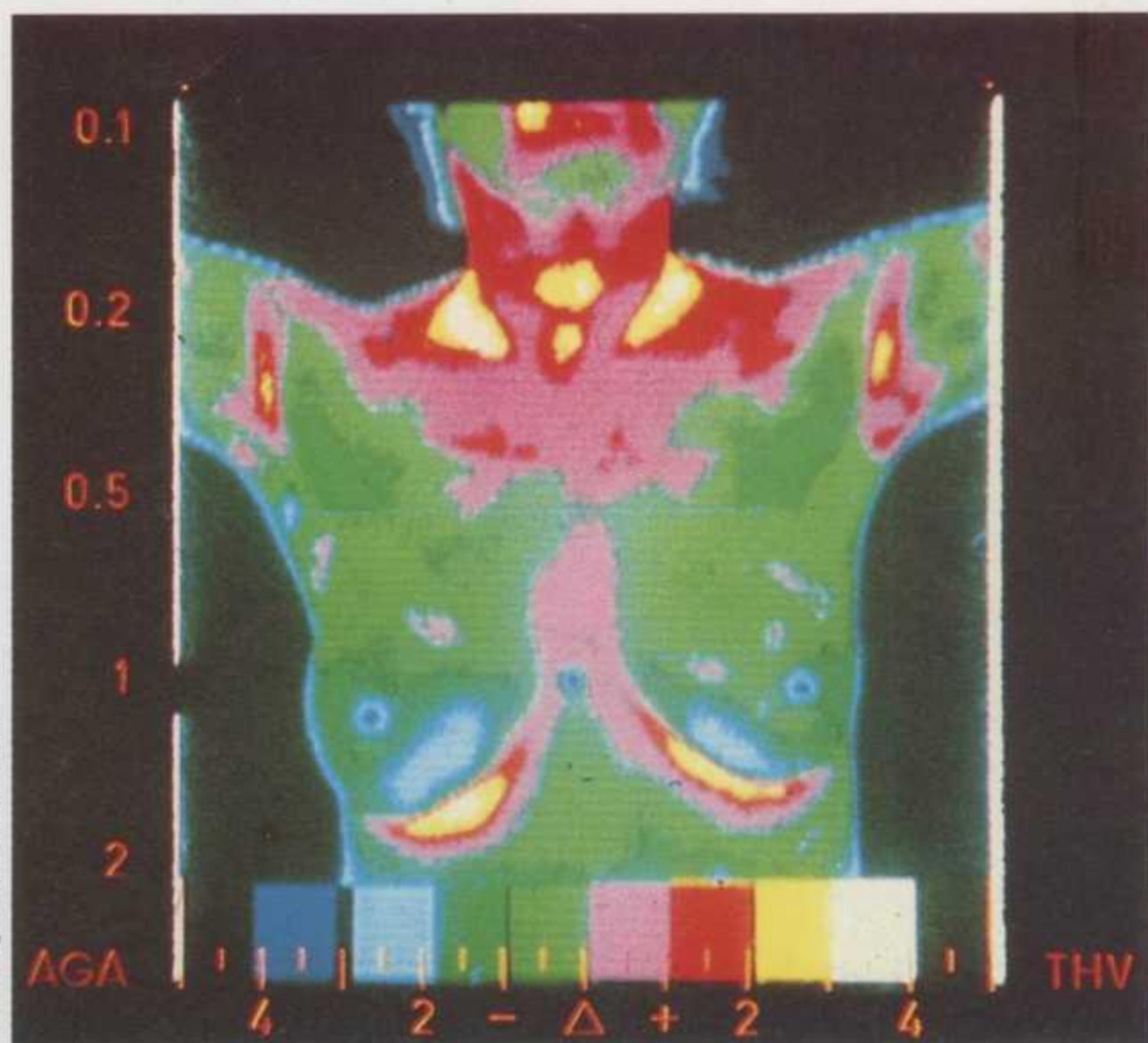
Bajo estas líneas puede verse algunas de las aplicaciones de la termografía: a la izquierda, termograma en color de un edificio en el que se destacan con

los colores blanco, amarillo o rojo las zonas de mayor dispersión térmica (zonas más calientes); y a la derecha, termograma en color para el diagnóstico

del carcinoma de mama. A cada color le corresponde un nivel de temperatura (áreas isotérmicas), con lo que resulta sencillo encontrar eventuales anomalías térmicas.



Fotos: Agaltalia S.r.l., Milán



Ingeniería

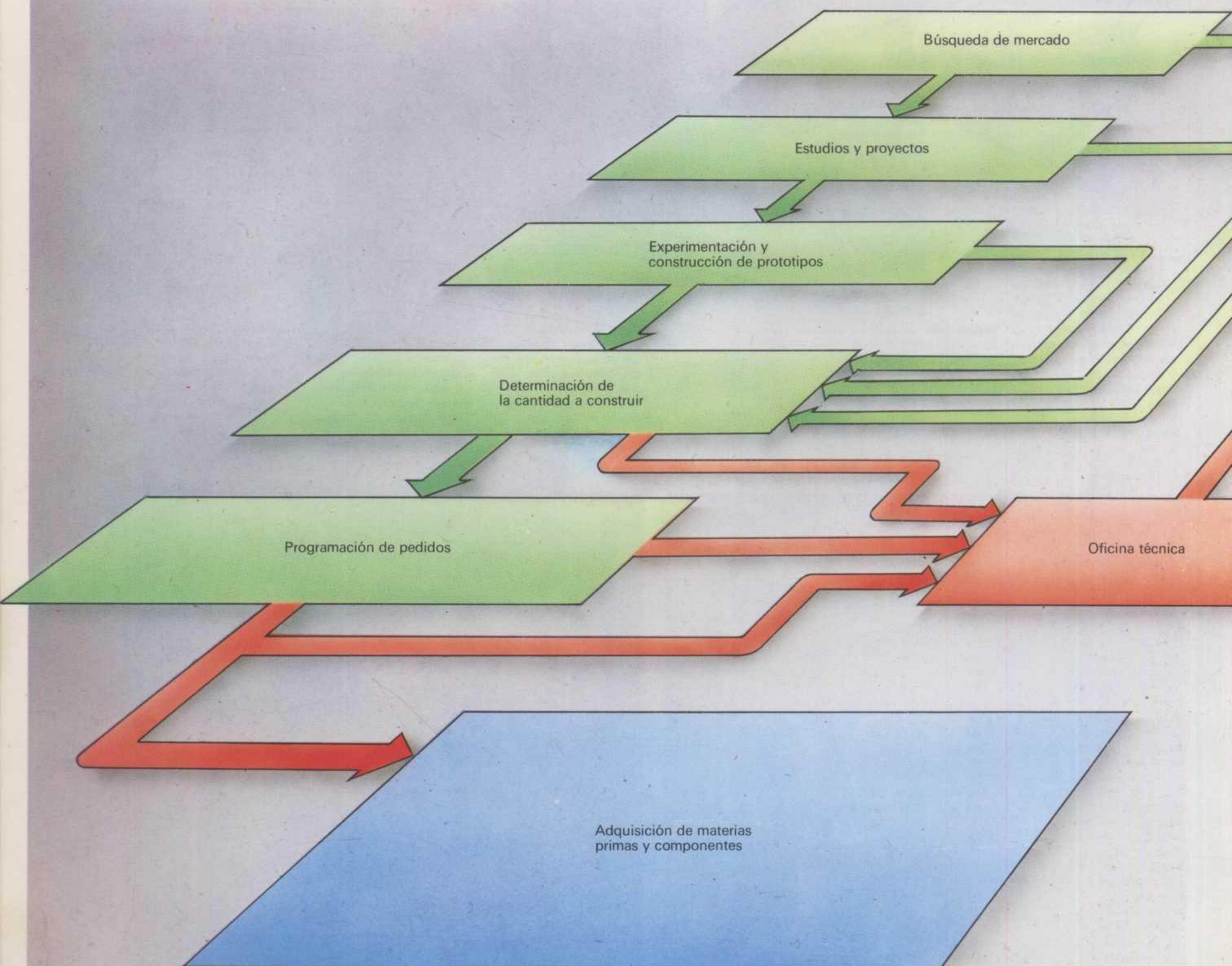
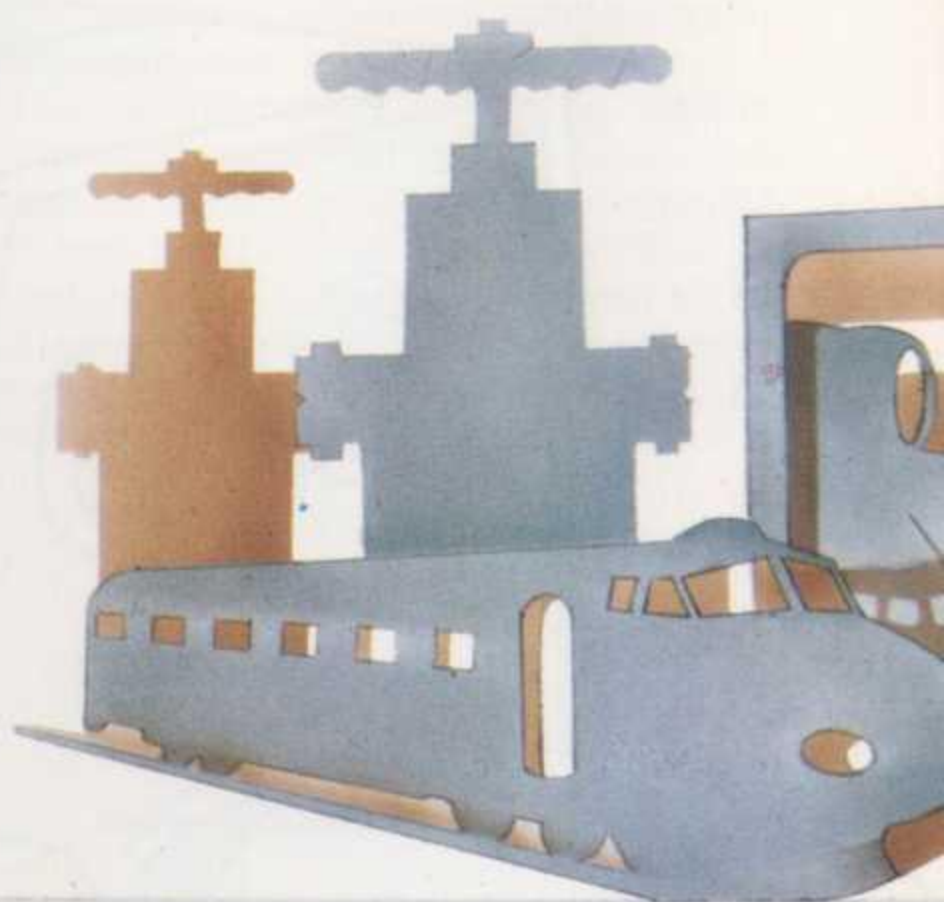
Si nos preguntáramos qué hay en común entre el "metro" y un rascacielos, o bien entre una nave espacial y una presa para una instalación hidroeléctrica, o entre un submarino y un automóvil, la respuesta sería que todas estas máquinas, obras o estructuras —y muchas otras— han sido proyectadas y desarrolladas por ingenieros.

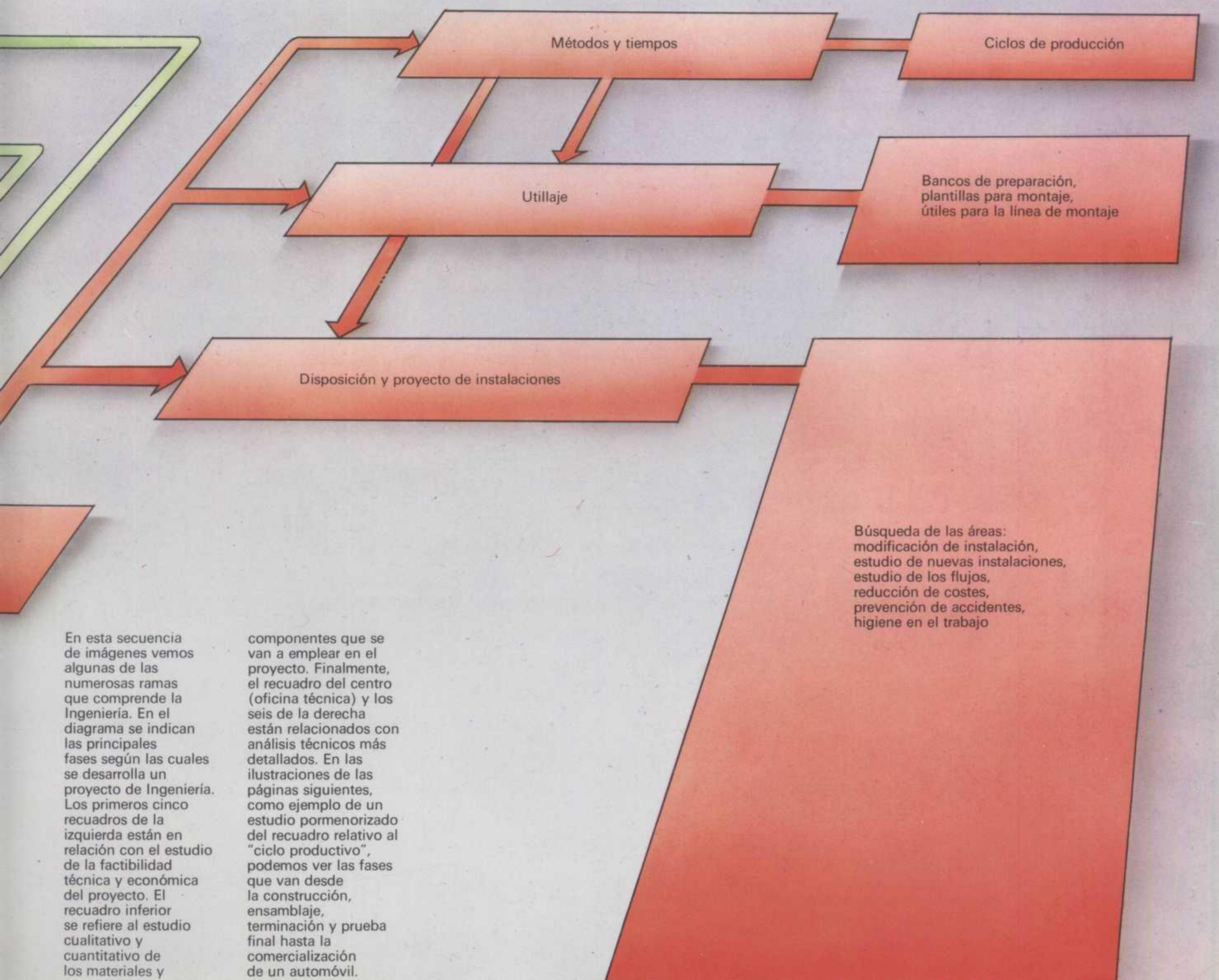
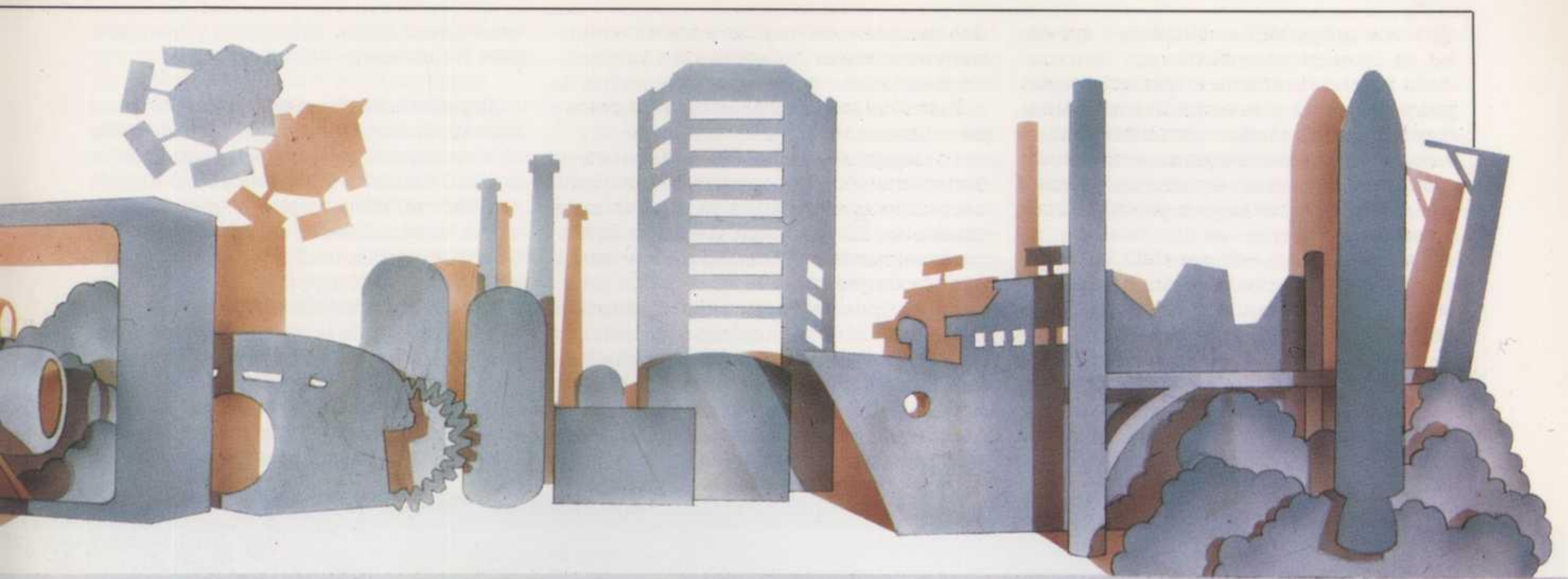
La *Ingeniería* puede ser definida como el arte de aplicar los conocimientos científicos adquiridos mediante el estudio, la experiencia y la práctica al desarrollo de los sistemas de utilización de los materiales y de las fuerzas de la Naturaleza en beneficio del progresivo bienestar del ser humano. Por lo tanto, la Ingeniería se diferencia de la ciencia pura en que no sólo se preocupa de descubrir los fenómenos naturales y formular teorías aceptables,

sino también de aplicar esos descubrimientos o teorías a fines prácticos.

Principales ramas de la Ingeniería Tradicionalmente, la Ingeniería fue dividida en dos sectores fundamentales: *civil* y *militar*. Hoy en día hay muchas otras especializaciones en el campo de la Ingeniería. El ingeniero civil se dedica principalmente al estudio de la estructura estática de presas, puentes y edificios.

La *Ingeniería mecánica* se ocupa de estructuras dinámicas, como las máquinas y los motores, las turbinas, las grúas, los generadores y sistemas similares que están sujetos a movimiento y a solicitaciones variables mientras transforman la energía que utilizan. Sectores muy especializados, como la *Ingeniería aeronáutica* y *astronáutica*, pueden emplear ventajosamente téc-





En esta secuencia de imágenes vemos algunas de las numerosas ramas que comprende la Ingeniería. En el diagrama se indican las principales fases según las cuales se desarrolla un proyecto de Ingeniería. Los primeros cinco recuadros de la izquierda están en relación con el estudio de la factibilidad técnica y económica del proyecto. El recuadro inferior se refiere al estudio cualitativo y cuantitativo de los materiales y

componentes que se van a emplear en el proyecto. Finalmente, el recuadro del centro (oficina técnica) y los seis de la derecha están relacionados con análisis técnicos más detallados. En las ilustraciones de las páginas siguientes, como ejemplo de un estudio pormenorizado del recuadro relativo al "ciclo productivo", podemos ver las fases que van desde la construcción, ensamblaje, terminación y prueba final hasta la comercialización de un automóvil.

nicas de la Ingeniería mecánica y aplicarlas en campos específicos.

La *Ingeniería eléctrica*, que trata principalmente de la electricidad y el magnetismo, tiene un campo de acción que se extiende desde la programación y dirección de las obras de instalación eléctrica de un gran edificio hasta la producción de la energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas, así como de las líneas de distribución en una determinada zona. Un sector ligado a esta rama es el de la *Ingeniería electrónica*, que se ocupa de la aplicación de los componentes electrónicos en el campo de los ordenadores y en otros aparatos que cada día están más en auge.

La *Ingeniería de minas* está en estrecha relación con la Geología, ya que se ocupa

del descubrimiento y extracción de minerales metalíferos del subsuelo. La *Ingeniería metalúrgica*, por su parte, se ocupa de extraer los metales de esos minerales y de refinarlos.

La *Ingeniería química* se dedica a la transformación de materias primas básicas en una gran cantidad de productos utilizados en las industrias de fibras sintéticas o en las de fertilizantes derivados del petróleo, entre otras.

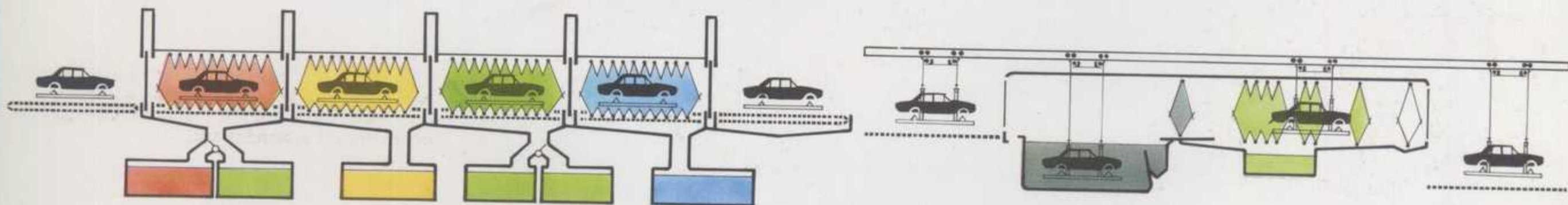
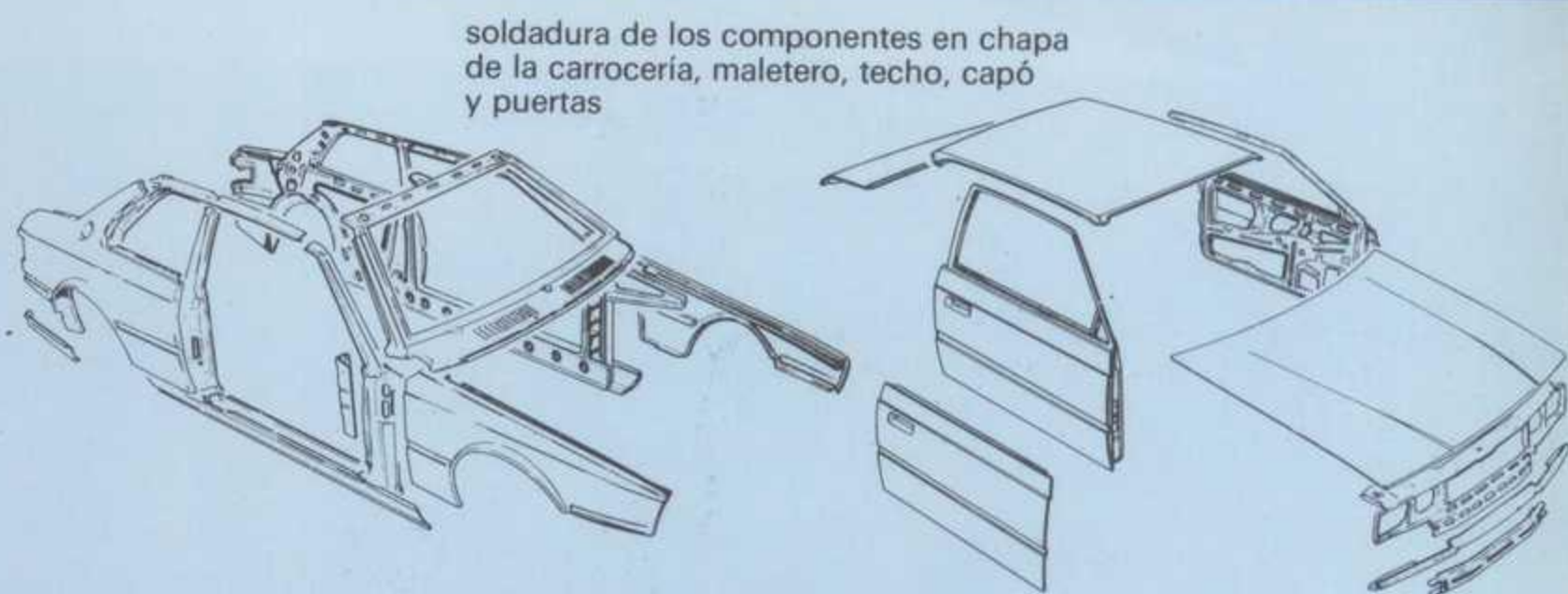
Otros tipos de Ingeniería van desde la *Ingeniería de comunicación* (que concierne a las redes telefónicas, televisivas, y de la telecomunicación en general), la *Ingeniería sanitaria* (tratamiento, "reciclaje" y eliminación de residuos), la *Ingeniería naval* (proyectos navales) y la *Ingeniería nu-*

clear (producción, utilización y manipulación de materias radiactivas).

Ingeniería de sistemas Aunque las ramas de la Ingeniería están bien delimitadas, cualquier sistema —se trate de un edificio o de un vehículo espacial— necesita para su desarrollo conocimientos de varias especialidades de la Ingeniería.

Por ejemplo, aunque un rascacielos está proyectado por ingenieros civiles y arquitectos, la instalación de los ascensores necesitará de la capacidad técnica de ingenieros mecánicos, mientras que el proyecto de las instalaciones eléctricas requerirá los conocimientos de los ingenieros eléctricos; será, además, indispensable la contribución de otros profesiona-

estampación de todos los elementos de chapa que componen la carrocería



pintura, decapado, electroforesis, esmaltado, secado y terminación

prueba del vehículo en pista y puesta a punto



cadena de retoques finales

expedición

les para la realización de las instalaciones de aire acondicionado, calefacción, instalaciones hidráulicas y otros servicios.

Ya que los objetos contruidos son proyectados en su mayoría para ser puestos en funcionamiento o utilizados por los hombres, hay una especialización, conocida como *Ingeniería de sistemas*, dedicada a la búsqueda de "criterios de proyecto" (de ambientes y máquinas) que permitan a las personas trabajar con la máxima productividad, satisfacción y confort.

Ingeniería de proyectos Un proyecto de Ingeniería empieza generalmente por la toma en consideración por parte del ingeniero de algunos deseos, necesidades o fines que deberá intentar realizar de la

mejor forma posible. Esos fines pueden entrañar gran dificultad, como el enviar un hombre a la Luna, o ser más modestos, como mejorar un cepo para ratones.

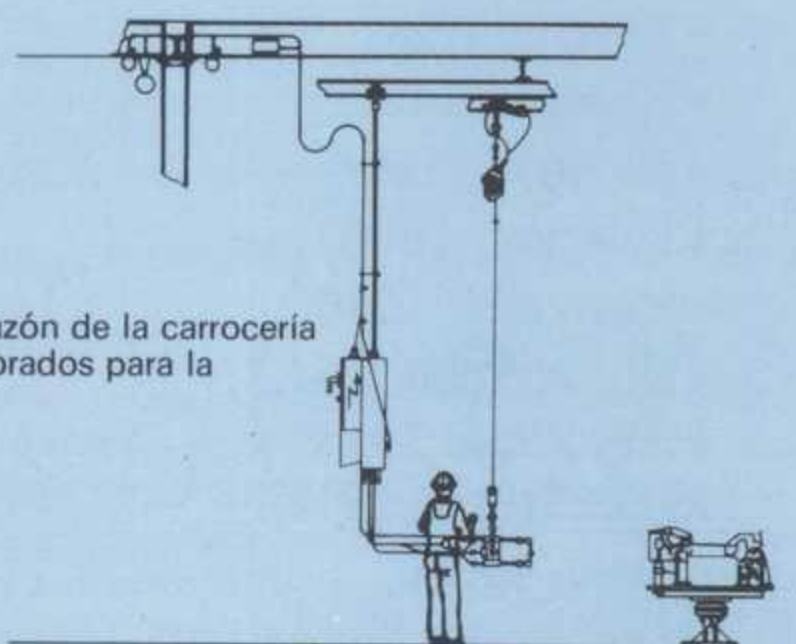
El ingeniero proyectista debe conseguir resultados dentro de las limitaciones impuestas por los materiales y útiles disponibles, así como también por los costes, los plazos de tiempo, las obligaciones legales y otros factores previstos por el contrato con el cual se le solicita el proyecto de un producto específico.

La profesión de ingeniero Generalmente, los futuros ingenieros se preparan para cualquiera de las ramas de la Ingeniería cursando estudios en las Escuelas Superiores de Ingenieros de las Universi-

dades Politécnicas. Estos estudios comprenden matemáticas, ciencias físicas, químicas, mecánica, resistencia de los materiales, termodinámica y otras disciplinas además de economía. La mayor parte de los ingenieros desempeña su trabajo en empresas, sociedades, universidades y otras instituciones de investigación, o bien en ministerios y entes públicos. Hay muchas entidades profesionales nacionales e internacionales en las cuales los ingenieros pueden continuar su preparación y mantenerse al día respecto a los rápidos cambios y avances que se producen en sus respectivos campos de trabajo.

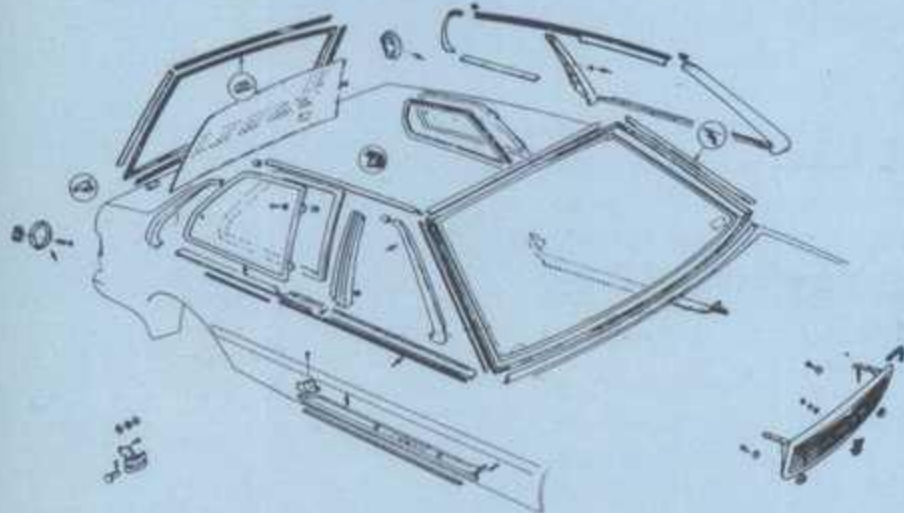
Véase **Autopistas y carreteras; Canal; Cimientos; Drenaje; Edificios, construcción de; Estática; Hidráulica; Mecánica; Puerto**

montaje completo del armazón de la carrocería mediante mecanismos calibrados para la soldadura

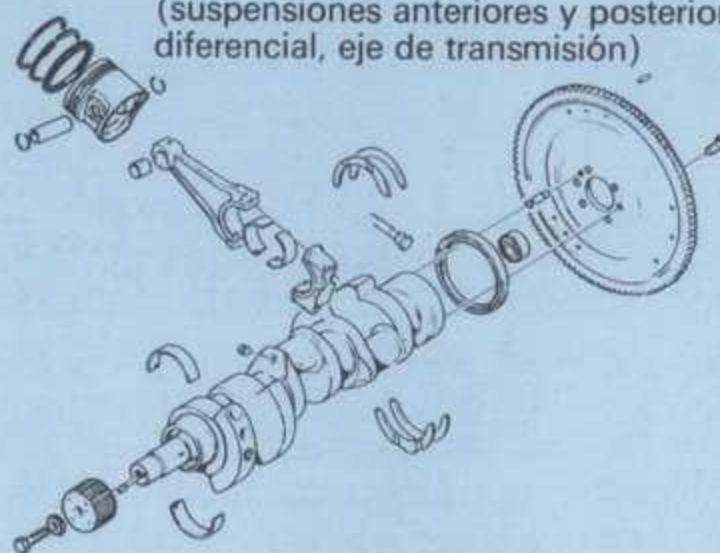


cadena para la unión de planchas, revisión, repaso y montaje de los elementos móviles de la carrocería.

cadena de montaje de paneles, cables, parabrisas, lunas e instrumentación



cadena de montaje del grupo propulsor y de los demás grupos mecánicos (suspensiones anteriores y posteriores, diferencial, eje de transmisión)



cadena de montaje final de parachoques, ruedas anteriores y posteriores, asientos anteriores y posteriores, eventuales grupos opcionales y acabados varios



comercialización

Indice

Volumen VII

- Gen, 1458
- Generador de funciones, 1462
- Genética, 1464
- Genital, aparato, 1466
- Geodesia, 1468
- Geofísica, 1470
- Geoide, 1472
- Geología, 1474
- Geometría analítica, 1480
- Geometría diferencial, 1484
- Geometría, 1486
- Geomorfología, 1490
- Geoquímica, 1494
- Ginecología, 1498
- Glaciaciones, 1500
- Glaciar, 1504
- Glándula, 1508
- Glándulas mamarias, 1510
- Glándulas suprarrenales, 1512
- Globos y dirigibles, 1514
- Glúcidos, 1518
- Glucógeno, 1522
- Gravedad y gravitación, 1524
- Gripe, 1526
- Grúas y aparatos elevadores, 1528
- Grupos, anillos y cuerpos, 1530
- Grutas y cavernas, 1534
- Guerra bacteriológica, 1540
- Guerra química, 1542
- Guitarra, 1544
- Gusano, 1546
- Gusto, sentido del, 1550
- Halógenos, 1552
- Hambre, sensación de, 1556
- Hélice, 1558
- Helicóptero, 1560
- Hembra, 1564
- Hemofilia, 1566
- Hepatitis, 1568
- Herbario, 1570
- Herbicidas, 1572
- Herencia, 1574
- Herpes, 1576
- Herramientas y máquinas-herramienta, 1578
- Hibernación, 1582
- Híbridos, 1584
- Hidráulica, 1586
- Hidroala, 1590
- Hidrocarburos, 1592
- Hidrocarburos sintéticos, 1594
- Hidrógeno, 1596
- Hidropónicos, cultivos, 1598
- Hierro, 1600
- Hígado, 1602
- Higiene, 1604
- Hilados, 1608
- Hipnosis, 1610
- Hipocausto, 1612
- Hipófisis, 1614
- Histología, 1616
- Hoja, 1620
- Holoceno, 1622
- Holografía, 1626
- Holografía acústica, 1628
- Hombre, 1630
- Homeopatía, 1634
- Hormiga, 1636
- Hormigón, 1638
- Hormonas, 1640
- Horno, 1646
- Horno para cerámica, 1648
- Hospital, 1650
- *Hovercraft*, 1654
- Hueso, 1656
- Huevo, 1658
- Impermeabilización, 1660
- Impresión, 1662
- Impresión en *offset*, 1666
- Impresora, 1668
- Incendios, lucha contra, 1670
- Inercia, 1674
- Infancia, 1676
- Infarto, 1678
- Infección, 1680
- Infinito matemático, 1682
- Información, 1684
- Información, recuperación de la, 1686
- Información, teoría de la, 1688
- Informática, 1690
- Infrarrojos, rayos, 1692
- Ingeniería, 1696



